

1674

NINA Rapport

Test av fagsystemet for økologisk tilstand

Erfaringer fra pilotprosjekter for arktisk tundra og arktisk del av Barentshavet

Jane Uhd Jepsen, Per Arneberg, Rolf Anker Ims, Anna Siwertsson og Nigel Gilles Yoccoz



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Test av fagsystemet for økologisk tilstand

Erfaringer fra pilotprosjekter for arktisk tundra og arktisk del av Barentshavet

Jane Uhd Jepsen, Per Arneberg, Rolf Anker Ims, Anna Siwertsson og Nigel Gilles Yoccoz



Jepsen, J.U., Arneberg, P., Ims, R.A., Siwertsson, A. Og Yoccoz, N.G. 2019. Test av fagsystemet for økologisk tilstand. Erfaringer fra pilotprosjekter for arktisk tundra og arktisk del av Barentshavet. NINA Rapport 1674. Norsk institutt for naturforskning.

Tromsø, juni 2019

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-3421-4

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

Jane Uhd Jepsen (NINA) og Per Arneberg (HI)

KVALITETSSIKRET AV

Forskningssjef Cathrine Henaug (NINA), Forskningsdirektør Geir Huse (HI), og Programleder Maria Fossheim (HI)

ANSVARLIG SIGNATUR

Administrerende direktør Norunn S. Myklebust (sign.)

OPPDRAKSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Miljødirektoratet

OPPDRAKSGIVERS REFERANSE

M-1404|2019

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Else Løbersli, Reidar Hindrum og Hanne-Grete Nilsen

FORSIDEBILDE

Tundralandskap © Geir Vie

Torsk i stim © Havforskningsinstituttet

NØKKEWORD

Arktis, Finnmark, Barentshavet, Svalbard, økologisk tilstand, tundra, hav, økosystemdynamikk, menneskelig påvirkning, bioklimatiske soner, klimaendringer, økosystembasert overvåking, økologiske interaksjoner, økologiske indikatorer, indeksbasert vurdering, fagpanelvurdering, tilstandsvurdering, tidsserier, kunnskapsbasert forvaltning

KEY WORDS

Arctic, Norway, Finnmark, Barents Sea, Svalbard, ecological condition, ecosystem state, marine, tundra, ecosystems, ecosystem dynamics, human drivers, bioclimatic zones, climate change, ecosystem-based monitoring, ecological interactions, ecological indicators, index-based assessment, scientific assessment, ecological assessment, time series, evidence based management

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø

Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer

Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen

Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Jepsen, J.U., Arneberg, P., Ims, R.A., Siwertsson, A. og Yoccoz, N.G. 2019. Test av fagsystemet for økologisk tilstand. Erfaringer fra pilotprosjekter for arktisk tundra og arktisk del av Barentshavet. NINA Rapport 1674. Norsk institutt for naturforskning.

Fagsystemet for vurdering av økologisk tilstand skal danne grunnlaget for samlet, kunnskapsbasert, vurdering av tilstand i norske hovedøkosystemer. Tre metoder for samlet vurdering ble anbefalt for videre vurdering av et tidligere Ekspertråd. To av disse er nært beslektet, og nå samlet til en overordnet metode, slik det nå er to metoder for samlet vurdering som er under nærmere utprøving; Fagpanelprinsippet, inspirert av tilnærmingen for vurdering i bl.a IPCC og IPBES, og Indeksprinsippet, som bygger på Naturindeksen og Vannforskriftens klassifiseringssystem. I denne rapporten beskrives utvikling og gjennomføring av protokollen for fagpanelprinsippet. Utvikling og gjennomføring av protokoll for indeksprinsippet presenteres i en parallell rapport (Nybø et al. 2019). To arbeidsgrupper har utført en pilottest med fagpanelprotokollen for økosystemtypene arktisk tundra og arktisk del av Barentshavet. Intensjonen var at indeksprotokollen skulle prøves ut for abiotiske indikatorer fra de samme økosystemene. Det kunne ikke gjennomføres fordi det ikke var gitt i denne protokollen hvordan skalering, et nødvendig steg i denne tilnærmingen, kunne gjøres for disse indikatorene.

Ifølge fagpanelprotokollen gjøres vurderingen av avvik fra god økologisk tilstand av et bredt sammensatt fagpanel bestående av fagpersoner med ekspertise på det aktuelle økosystemet. Ifølge protokollen beskrives først datagrunnlaget og hvordan indikatorverdier er estimert fra dette grunnlaget. Datagrunnlaget for hver indikator vurderes også etter fastsatte kriterier. Deretter beskrives en formalisert forventning om hvordan hver indikator endrer seg som resultat av menneskeskapte drivere i økosystemet. Slike beskrivelser kalles fenomener. Fenomenene skal begrunnes med bakgrunn i publisert forskningslitteratur, og det skal vurderes i hvilken grad de forventede endringene kan være biologisk betydelige med hensyn til effekter på økosystemets struktur og funksjon, også det med bakgrunn i litteraturen. Dette danner bakgrunnen for å anslå fenomenenes gyldighet, som er en vurdering av hvor sikre vi er på forbindelsen mellom driver(e) og indikator og betydningen av endringer. Det neste steget er å vurdere, gjennom statistiske analyser av indikatorverdiene, i hvilken grad det er evidens for at de forventede endringene (fenomenene) har inntruffet. Det gjøres så en samlet vurdering av avvik fra god økologisk tilstand for hver av syv definerte egenskaper ved økosystemene, der det legges vekt på evidens for at fenomenene har inntruffet, fenomenenes gyldighet og datadekning for hver indikator. Basert på disse syv vurderingene gjøres det en kvalitativ vurdering av samlet avvik fra god økologisk tilstand for økosystemet som helhet. Alle stegene i protokollene dokumenteres for å sikre transparens og etterprøvbarehet.

Utprøvingen for arktisk tundra og arktisk del av Barentshavet viser at fagpanelprotokollen lot seg gjennomføre på begge disse, svært ulike, økosystemene. Begge paneler har gjort seg liknende erfaringer med protokollen, og anbefaler liknende justeringer frem mot en operasjonell versjon. Dette indikerer at protokollen er nær ved å kunne operasjonaliseres.

På bakgrunn av erfaringene fra pilottesten, og at det i forskningslitteraturen gjennomgående er konkludert med at vurdering av tilstand i komplekse systemer bør gjøres ved hjelp av fagpanel og ikke indekser, anbefales det å basere den videre utviklingen av fagsystemet på fagpanelprotokollen. Videre er det godt dokumentert i forskningslitteraturen at det er grunnleggende problemer med å tallfeste referanseverdier og grenseverdier for god tilstand i økosystemer, to sentrale elementer i indeksprotokollen. Det anbefales å gjennomføre en kvalitetssikring av de metodiske protokollene og gjennomføring av dem ved hjelp av et internasjonalt bredt sammensatt fagfellepanel. Andre anbefalinger fra de to arbeidsgruppene er at

klimateindikatorer er både en naturlig og nødvendig del av et system for vurdering av tilstand i økosystemer, at fagsystemet bør anvendes på relativt store områder som tilsvarer de skalaene økosystemprosesser opererer på, at operasjonalisering kan og bør begynne snarest og parallelt med en internasjonal fagfelleevaluering, samt at det må tas nødvendige skritt for å sikre og utvide datagrunnlaget for en fremtidig operasjonell vurdering.

Jane Uhd Jepsen, Norsk institutt for naturforskning, Avdeling for arktisk økologi, Framsenteret, Postboks 6606 Langnes, 9296 Tromsø, jane.jepsen@nina.no

Per Arneberg, Havforskningsinstituttet, Avdeling for økosystemprosesser, Framsenteret, Postboks 6606 Langnes, 9296 Tromsø, per.arneberg@hi.no

Rolf Anker Ims, UiT Norges arktiske universitet, Institutt for arktisk og marin biologi, 9037 Tromsø, rolf.ims@uit.no

Anna Siwertsson, Havforskningsinstituttet, Avdeling for økosystemprosesser, Framsenteret, Postboks 6606 Langnes, 9296 Tromsø, anna.siwertsson@hi.no

Nigel Gilles Yoccoz, UiT Norges arktiske universitet, Institutt for arktisk og marin biologi, 9037 Tromsø, nigel.yoccoz@uit.no

Abstract

Jepsen, J.U., Arneberg, P., Ims, R.A., Siwertsson, A. og Yoccoz, N.G. 2019. A test of the assessment system for ecosystem state. Experiences from arctic tundra and arctic sector of the Barents Sea. NINA Report 1674. Norwegian Institute for Nature Research.

The assessment system for ecosystem condition (NO: Fagsystemet) is intended to form the basis for a consolidated, evidence-based, assessment of the ecological state of Norwegian ecosystems. Three methodological approaches for assessment of ecosystem condition were recommended for further development and evaluation by a previous expert committee. Two of these are closely related and have been merged into one, resulting in two methodological approaches currently under evaluation; A panel-based approach (NO: Fagpanelprinsippet) inspired by the approach used in IPCC and IPBES, and an index-based method (NO: Indeksprinsippet) which builds on the approach used in the Norwegian Nature Index and the classification system of the Water Framework Directive. This report describes the development and test of the protocol for the panel-based approach (in the following termed the panel-based protocol). The development and test of the index-based protocol is described in a parallel report (Nybø et al. 2019). Two working groups have completed a test of the panel-based protocol for the ecosystems arctic tundra and the arctic sector of the Barents Sea. The intention was to additionally test the index-based protocol for all abiotic indicators in both ecosystems. This could not be completed, as the suggested methodology for scaling the indicator values, a required step in the index-based protocol, was not developed to handle indicators for which an ecologically meaningful 'zero-line' was lacking.

In the panel-based protocol, the assessment of ecosystem state is done by a broad panel of experts on the ecosystem in question, according to strict criteria. The first step in the protocol is a description of the datasets used for each selected indicator, and the methods used for both collecting the data and for calculating indicator values from the data. The quality of the data coverage is evaluated according to defined criteria. The next step is to describe formalised expectations for how each indicator may change as a result of anthropogenic pressures. These descriptions are termed 'phenomena' (NO: fenomener). The protocol requires that each phenomenon is justified in a description based on published literature, including a description of certainty with respect to the impact of anthropogenic drivers, and why and how expected changes might contribute to a worsening of the ecological state, in terms of ecosystem structure and functions. Based on this description the validity of each phenomenon is scored and used as a degree of confidence in the causal relationship between changes in the indicator and anthropogenic drivers (VF). The next step in the protocol is an evaluation of whether there are changes in the indicator values that can be considered statistically and biologically significant in the sense that they constitute a worsening of ecological state. This evaluation of the extent to which each phenomenon has occurred is scored and used as axis of evidence quality (EF). The next step is a consolidated assessment of the ecological state of each of seven ecosystem properties, based on the associated indicators and phenomena. The assessment is based on the validity (VF), the evidence quality (EF), and the data quality for each phenomenon. The assessment of each ecosystem property is inherently qualitative and includes a written assessment and a score to one of three categories, depending on whether none, some or substantial deviation from a normative intact ecological condition has been observed. The final qualitative assessment of the ecosystem as a whole is then made based on the assessments of each of the seven ecosystem properties.

The two panel-based assessments, made for high- and low-arctic tundra and the arctic sector of the Barents Sea, show that the protocol was functional for both these, highly different, ecosystems. The assessment panels for both ecosystems had similar experiences with the

use of the protocol, and recommended similar adjustments. This indicates that the protocol can be operationalised with a limited effort.

From the promising test of the panel-based approach, and the fact that the scientific literature lends support to the notion that assessments of complex systems should preferentially be done based on qualitative panel-based assessments rather than quantitative index-based averages, we recommend that the assessment system for ecosystem state is founded on the panel-based assessment approach. In addition, it is well documented in the scientific literature that there are fundamental problems associated with establishing empirically sound quantitative estimates for pristine reference states and thresholds for entering a 'poor' ecological state, two key elements of an index-based approach. We strongly recommend that a broad international peer review is performed of one or both approaches. Other recommendations from the panels are that climatic indicators should be a natural and mandatory part of the evaluation of the ecosystem attribute 'Abiotic conditions', that assessment scale should be carefully considered and coincide with the scale at which ecosystem processes occur on, that the process towards operationalisation can and should begin soon and in parallel with a peer review process, and that necessary steps are taken to secure and extend the data contributing to the assessment system.

Jane Uhd Jepsen, Norwegian Institute for Nature Research, Department of Arctic Ecology, Fram Centre, P.O. Box 6606 Langnes, 9296 Tromsø, jane.jepsen@nina.no

Per Arneberg, Institute of Marine Research, Department of Ecosystem Processes, Fram Centre, P.O. Box 6606 Langnes, 9296 Tromsø, per.arneberg@hi.no

Rolf Anker Ims, UiT The Arctic University of Norway, Department of Arctic and Marine Biology, 9037 Tromsø, rolf.ims@uit.no

Anna Siwertsson, Institute of Marine Research, Department of Ecosystem Processes, Fram Centre, P.O. Box 6606 Langnes, 9296 Tromsø, anna.siwertsson@hi.no

Nigel Gilles Yoccoz, UiT The Arctic University of Norway, Department of Arctic and Marine Biology, 9037 Tromsø, nigel.yoccoz@uit.no

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	5
Innhold	7
Forord	9
1 Innledning	11
1.1 Prinsipielle betraktninger rundt indeksbaserte og fagpanelbaserte metoder i helhetlige vurderinger av økosystemtilstand	12
1.2 Bruken av fagekspert i indeksbaserte og fagpanelbaserte vurderinger	13
1.3 Evaluering av indeksprinsippet for vurdering av økologisk tilstand	15
1.4 Romlig skala og forvaltningsrelevans	17
1.5 Rapportens innhold	20
2 Det metodiske rammeverket	21
2.1 Økologisk tilstand, syv egenskaper ved økosystemer og to metodiske tilnærminger	21
2.2 Økosystemer og geografisk avgrensing	22
2.2.1 Arktisk del av Barentshavet	22
2.2.2 Lav- og høyarktisk tundra i Finnmark og på Svalbard	23
2.3 Metodisk rammeverk for indeksprinsippet	24
2.3.1 Overordnet rammeverk	24
2.3.2 Beskrivelse av vurderingsprosessen	24
2.4 Metodisk rammeverk for fagpanelprinsippet	25
2.4.1 Overordnet rammeverk	25
2.4.2 Beskrivelse av vurderingsprosessen	25
3 Arktisk del av Barentshavet	29
3.1 Kunnskapsgrunnlag og indikatorer	29
3.1.1 Datagrunnlaget for arktisk del av Barentshavet	29
3.1.2 Indikatorer anvendt for arktisk del av Barentshavet i pilottesten	30
3.2 Vurderinger knyttet til valg av protokoll for vurdering av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet	31
3.3 Vurdering av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet basert på fagpanelprotokollen	33
3.3.1 Beskrivelse av anvendte fenomener	33
3.3.2 Samlet vurdering av økologisk tilstand for hver egenskap	34
3.3.3 Samlet vurdering av økologisk tilstand for økosystemet som helhet	38
3.3.4 Vurdering av fremtidig utvikling	40
3.4 Anbefalinger for videre overvåking og forskning	43
4 Høyarktisk og lavarktisk tundra	47
4.1 Kunnskapsgrunnlag og indikatorer	47
4.1.1 Datagrunnlaget for arktisk tundra	47
4.1.2 Metoder for beregning av indikatorverdier fra datagrunnlaget	48
4.1.3 Indikatorer anvendt for arktisk tundra i pilottesten	49
4.2 Vurdering av datagrunnlagets og indikatorsettets egnethet for de ulike protokollene	49
4.3 Samlet vurdering av økologisk tilstand for arktisk tundra basert på fagpanelprotokollen	53
4.3.1 Anvendte fenomener	53
4.3.2 Samlet vurdering av økologisk tilstand for hver egenskap	62
4.3.2.1 Lavarktisk tundra	62
4.3.2.2 Høyarktisk tundra	67

4.3.3	Samlet vurdering av økologisk tilstand for økosystemet som helhet	69
4.3.4	Vurdering av fremtidig utvikling	72
4.4	Anbefalinger for videre overvåking og forskning	73
5	Erfaringer med fagpanelprotokollen	77
5.1	Transparens og etterprøvbarehet	77
5.2	Gjennomføring	77
5.3	Mindre justeringer i vurderingskriterier	79
5.4	Visuell fremstilling	80
5.5	Synergier mellom økosystemer og romlig skala	80
5.6	Oppsummering av anbefalinger om justeringer av protokoll	81
6	Overordnede anbefalinger	82
7	Vedlegg	84
8	Referanser	85

Forord

På oppdrag fra Miljødirektoratet har tre ulike arbeidsgrupper arbeidet med utvikling og pilottest av tre ulike protokoller for samlet vurdering av økologisk tilstand i norske økosystemer. De tre arbeidsgruppene har hatt ansvar for hhv hav, arktisk tundra og øvrige terrestre økosystemer (fjell, skog, våtmark og semi-naturlig mark). Rammene for utviklingsarbeidet er fastlagt i grunnlagsrapporten fra Ekspertrådet (Nybø & Evju 2017), og bygger dessuten på tidligere utredninger av datagrunnlaget og anbefalinger for indikatorer for de ulike økosystemer (Arneberg et al. 2018a, Jepsen et al. 2018, Nybø et al. 2018). Denne rapporten presenterer arbeidet fra arbeidsgruppene for hav og arktisk tundra, som har gjennomført pilottesten for hhv arktisk del av Barentshavet, og lavtundra på fastlandet og høyarktisk tundra på Svalbard. Arbeidet for øvrige terrestre økosystemer rapporteres i en egen rapport (Nybø et al. 2019), og de to rapporter bør sees i sammenheng.

Arbeidet med å utvikle den første versjon av protokollen for fagpanelprinsippet, og utprøve denne i arktisk del av Barentshavet og arktisk tundra, har involvert seks norske forskningsinstitusjoner (NINA, HI, UiT, MET, NP, NIVA), og har bidrag fra 27 forskere i tillegg til forfatterne på denne rapporten. Disse har bidratt med data, analyser, vurderinger av kunnskapsgrunnlaget, og formulering av indikatorer. Mange har også deltatt i de to fagpaneler som har gjennomført den samlede vurderingen basert på protokollen. Vi vil takke alle for disse helt avgjørende bidrag og for viktige og vanskelige faglige diskusjoner underveis. Arbeidet har vært gjennomført under stort tidspress og for forfattergruppen har det slett ikke vært mulig å trekke på denne store samlede kompetansen i det omfanget vi kunne ha ønsket.

Arbeidet har vært organisert i to arbeidsgrupper, en for tundra og en for hav. Etter avtalen har arbeidet med å utvikle protokollen skjedd i tett samarbeid mellom begge arbeidsgrupper, slik at den tekniske protokollen (vedlegg 1 til denne rapporten) er et felles produkt. Arbeidet med utprøvingen av protokollen er derimot forløpet separat i de to arbeidsgrupper, med separate fagpaneler for tundra og hav og arbeidsgruppene har ikke vært representert i hverandres fagpaneler. Begge fagpaneler gjennomførte sine panelvurderinger d. 11.-12. april, og har etterfølgende skrevet sammen samlede vurderinger av de to økosystemer. Derfor inneholder denne rapporten et separat kapittel fra hver arbeidsgruppe, der samlet vurdering for hvert økosystem er oppsummert og økosystem-spesifikke anbefalinger for videreutvikling av kunnskapsgrunnlaget er adressert. I den etterfølgende evalueringen av hvordan fagpanelprotokollen har fungert i de to økosystemer, kom det imidlertid frem at begge arbeidsgrupper hadde svært like erfaringer og så ganske like behov for justeringer. Vi har derfor valgt å samle begge grupper erfaringer med protokollen i et samlet kapittel i denne rapporten. Rapportens innledning, metoder og overordnede anbefalinger representerer begge arbeidsgrupper.

Forskningssjef Cathrine Henaug (NINA), Programleder Maria Fossheim (HI) og Forskningsdirektør Geir Huse (HI) har bistått med kvalitetssikring av rapporten.

Else Løbersli, Reidar Hindrum og Hanne-Grete Nilsen har vært ansvarlige for prosjektet i Miljødirektoratet og vi takker for deres bidrag til arbeidet.

Bidragstere:

Ragnhild Bjørkås (NINA)
Kari Anne Bråthen (UiT)
Hanna Bøhner (UiT)
Dorothee Ehrich (UiT)
Eva Fuglei (NP)
John-Andre Henden (UiT)
Ketil Isaksen (MET)
Jesper Madsen (Århus Universitet)
Åshild Ø. Pedersen (NP)
Virve Ravolainen (NP)

Eeva Soininen (UiT)
Audun Stien (NINA)
Ingunn Tombre (NINA)
Torkild Tveraa (NINA)
Ole Einar Tveito (MET)
Ole Petter L. Vindstad (UiT)
Gro van der Meeren (HI)
Per Fauchald (NINA)
Sigrid Lind (HI)
Knut Yngve Børsheim (HI)
Padmini Dalpadado (HI)
Anne Kirstine Frie (HI)
Normann Green (NIVA)
Kirsteen MacKenzie (HI)
Sebastian Gerland (NP)
Olga Pavlova (NP)
Arild Sundfjord (NP)

Jane Uhd Jepsen og Per Arneberg
Redaktører

Tromsø, d. 3. juni 2019

1 Innledning

Arbeidet med utvikling av et «Fagsystem for økologisk tilstand» for norske terrestre og marine økosystemer ble startet ved at et Ekspertråd bestående av 9 medlemmer ble oppnevnt av Klima og miljødepartementet i september 2016. Sentrale punkter i mandatet var at fagsystemet skulle *«forstå naturvitenskaplige indikatorer og kriterier for økologisk tilstand i økosystemene som minimum klargjør hva som er god tilstand»*. Videre skulle fagsystemet *«baseres på et begrenset antall indikatorer som reflekterer økosystemenes struktur og funksjon som tar hensyn til naturlig dynamikk i økosystemet»* og ekspertrådet skulle *«peke på anbefalinger på hvilken innretning og detaljeringsgrad som bør være siktemål for et fagsystem på lengre sikt»*.

Ekspertrådet leverte sin rapport 1. juni 2017 (Nybø & Evju 2017). Ifølge mandatet la rapporten til grunn at fagsystemet skulle være *økosystembasert*. Med bakgrunn i at et økosystem omfatter både biologiske organismesamfunn og de abiotiske faktorene i miljøet der samfunnet finnes, ble dette fulgt opp av Ekspertrådet ved å identifisere syv egenskaper som beskriver sentrale trekk ved de biotiske og abiotiske delene av et økosystem. Rapporten la også til grunn at vurderinger av de syv egenskapene, basert på biotiske og abiotiske indikatorsett, skulle brukes til å fastslå når et økosystem var i god tilstand. Kvalitative kriterier for hva som kjennetegner god tilstand for hver av egenskapene er gitt i rapporten både på et overordnet nivå og for hvert av de konkrete økosystemene som Ekspertrådet behandlet i rapporten.

Grunnlagsrapporten diskuterer skillelinje mellom driver- og tilstandsvariable. Slike skillelinjer kan være vilkårlige i økosystemer der en tilstandsvariabel typisk er en driver av flere andre variabler. I noen sammenhenger betraktes klimaendringer som en driver av økologiske tilstandsendringer. Klimavariabel er imidlertid integrerte komponenter i økosystemets abiotiske egenskap. Klima har flere definerende effekter på og vekselvirkninger med (f. eks tilbakekoplingsmekanismer; Chapin et al. 2005, Swann et al. 2010) en rekke av systemets biotiske egenskaper. Klimavariabel inngår derfor som viktige indikatorer i Fagsystemet for økologisk tilstand.

Grunnlagsrapporten diskuterer videre i hvilken grad kvantitative kriterier kan legges til grunn for fastsetting av god økologisk tilstand på indikator, egenskaps- og økosystemnivå. Det er fire springende punkter (spørsmål) i denne diskusjonen: (1) Kan indikatorer og økosystemegenskaper tilordnes spesifikke verdier for når de er upåvirket av menneskelig aktivitet (dvs kan det estimeres kvantitative referanseverdier?); (2) kan indikatorer og egenskaper tilordnes spesifikke verdier som signaliserer overganger fra god til dårlig tilstand som følge av menneskelig aktivitet (dvs kan det estimeres kvantitative grenseverdier?); (3) fins det kunnskapsgrunnlag for å bruke algoritmer for aggregering av kvantitativ informasjon på indikator- og egenskapernivå i form av en samlet tilstandsindeks på økosystemnivå; og (4) fins det kunnskapsgrunnlag og metodikk som gjør det mulig å kvantifisere usikkerhet i indikatorverdier og grunnlagsdata på de ulike nivåene. Det var til dels stor uenighet omkring disse spørsmålene i Ekspertrådet som i liten grad er tydeliggjort i grunnlagsrapporten. Uenigheten er imidlertid en hovedårsak til at det ikke ble gjort noen endelige avklaringer i rapporten om hva slags metodisk innretning (protokoll) fagsystemet burde ha – selv om tre mulige protokoller ble skissert (hhv «Verste-styrer» etter mål av vannrammedirektivet, «Veid gjennomsnitt» etter mål av Naturindeksen, og en fagpanelvurdering etter mål av f.eks. IPCC og IPBES). Denne vesentlige avgjørelsen for et operativt fagsystem ble utsatt til et oppfølgende arbeid.

Dette oppfølgingsarbeidet har blitt gjort i tre arbeidsgrupper for henholdsvis terrestre økosystemer i Trøndelag (terrestrisk gruppe), arktiske tundraøkosystemer (tundragruppen) og den arktiske delen av Barentshavet (havgruppen). Første del av arbeidet bestod i å konkretisere data og indikatorgrunnlaget for hvert økosystem. Dette arbeidet ble levert sommeren og høsten 2018 for tundra (Jepsen et al. 2018), hav (Arneberg et al. 2018a) og terrestre økosystemer (Nybø et al. 2018). For de arktiske økosystemer (tundra og hav) ble utfordringene med å tilfredsstille premissene som bør ligge til grunn for anvendelse av en indeksbasert protokoll grundig beskrevet. Som det vil fremgå i ytterligere detalj i de økosystemspesifikke kapitler under (kap 3 Hav og kap 4 Tundra), konkluderte begge arbeidsgruppene med at det ikke finnes et robust faglig grunnlag

for å tilfredsstille de fire ovenfor nevnte kriterier for de fleste indikatorer. På et generelt plan er arbeidsgruppene derfor av den oppfatning at det ikke finnes et *a priori* grunnlag for å velge spesifikke algoritmer for å representere økologisk tilstand på egenskaps- eller økosystemnivå i form av samleindekser med robuste usikkerhetsanslag. Arbeidsrapportene (Arneberg et al. 2018a, Jepsen et al. 2018) diskuterer også disse problemene i lys av internasjonalt faglitteratur om ulike tilnærminger til tilstandsvurderinger av komplekse systemer. Andre del av det oppfølgende arbeidet bestod i utvikling og test av protokoller for hver av de tre metodiske tilnærminger skissert i grunnlagsrapporten. Dette arbeidet rapporteres her for arktisk tundra og arktisk del av Barentshavet.

1.1 Prinsipielle betraktninger rundt indeksbaserte og fagpanelbaserte metoder i helhetlige vurderinger av økosystemtilstand

Aggregering av indikatorer – her med formål å måle økologisk tilstand for hele økosystemet eller økosystemegenskaper – innebærer at det må være en felles "valuta" for alle indikatorer. Et av de mest anerkjente eksemplene på indeksbaserte vurderinger er innen økonomi, der prisindekser har vært utviklet og brukt i over 100 år. Selv om det eksisterer en naturlig skala og felles valuta for pris, fins det flere prisindekser avhengig av målsetningene for bruken av disse. Eksempler er «hvilken inntektsendring som må til for fullt ut å kompensere for prisendringer» (Bye & Hægeland 2014) og standardiserte indekser som brukes av sentralbankene for å karakterisere trender i makroøkonomiske forhold (finansiell verdi). Forskjellige indekser med tilsvarende formål viser relativt store innbyrdes avvik (Rønnevik 2014).

For økosystemer har flere land og internasjonale fagpaneler utviklet forskjellige metoder og anbefalinger for miljø- eller økosystemregnskap («environmental/economic/ecosystem accounts»), som vi kort oppsummerer her. Det landet som har kommet lengst med miljøregnskap er Australia (Cosier & McDonald 2010, Sbrocchi et al. 2015, Wentworth Group 2008, Wentworth Group 2016), som regelmessig (hvert år eller hvert 5. år) publiserer «State of the environment» (Jackson et al. 2016), «Australia's environmental scorecard», «Accounting for Nature» og «Australian Environmental-Economic Accounts». Disse vurderingene baseres delvis på skalerte variable, hvor 100 refererer til intakte økosystemer (for Australia betyr det før Europeerne kom, dvs 1750), og 0 når en funksjon er borte («absent»). Det er relativt få indikatorer/egenskaper som så langt er vurdert (f. eks. vegetasjon, jordprosesser, fuglesamfunn), og nesten alle er terrestriske. Hver aggregert indikator har vært gjennom en omfattende vurderingsprosess (Wentworth Group 2008, Wentworth Group 2016). Den endelige vurderingen av tilstanden for hver indikator gjøres ulikt mellom de ulike oppsummeringer, men i hovedsak kvalitativt, f.eks. i «State of the environment» til fire klasser for tilstand (very good, good, poor, very poor), og fire klasser for trend (improving, deteriorating, stable, unclear)¹. I «Accounting for Nature» anvendes de skalerte indikatorer, uten å sette faste grenseverdier, til å vurdere hvordan indikatorenes verdi endrer seg over tid². Avhengig av indikatorer og de økosystemfunksjonene de skal representere, har man brukt ulike aggregeringsmetoder (f. eks. areal*kvalitet for vegetasjon, og laveste kvalitet på tvers av flere indikatorer for jordprosesser begrunnet i prinsippet om «limiting factors»). Australia publiserer også årlig en «totalvurdering» som en del av «Environmental scorecard» («Environmental Condition Score»). Denne er basert på summen av syv indekser som dekker både klima og noen økosystemfunksjoner. Den reflekterer i hovedsak klimaeffekter (tørke). Det advares imidlertid i rapporten at den er subjektiv og at dette begrenser bruken.

FN har over flere år hatt en prosess rundt «Ecosystem Accounting | System of Environmental Economic Accounting» (SEEA), som også har som mål å etablere en felles skala for et indikatorbasert økosystemregnskap. De siste rapportene fra SEEA (Czucz et al. 2019, Keith et al.

¹ <https://soe.environment.gov.au/assessment-summary-81-state-and-trends-biodiversity>

² "A river in a national park might be described as healthy when it is in a near pristine condition (*Econd* = 100), whereas a river in an urban catchment might be described as healthy at a lower level of condition (*Econd* = 55), if it maintains its capacity to provide safe drinking water, is safe for people to swim, provides habitat for native species, and is not polluting to the estuary downstream."

2019, Maes et al. 2019) gir noe uklare anbefalinger for hvilke variable og indikatorer som bør være med. Czúcz et al. (2019) beskriver hvilke krav som bør stilles til økosystemindikatorer. De to første er: 1) **Relevans**: valg av økosystemindikatorer er avhengig av formålet med bruk av regnskapet³ og 2) **Tilstandsorientering**: indikatorene skal gi informasjon om økosystemtilstand (dvs. være sentrale tilstandsvariabler)⁴. Når det gjelder tilstandsvariabler eller “ecosystem characteristics”, inkluderer SEEA først både biotiske og abiotiske variable⁵, men i neste steg argumenteres det for at siden klima er vurdert i andre FN-sammenhenger, er det ikke nødvendig å gjøre det på nytt⁶. Ekspertrådet anbefalte derimot «Abiotiske forhold» som en av syv økosystemegenskaper som bør vurderes i Fagsystemet, og arbeidsgruppene for arktiske økosystemer er av den oppfatning at en vurdering av økologisk tilstand krever en eksplisitt vurdering av relevante klimaindikatorer under denne egenskapen. SEEA er også svært forsiktige når det gjelder aggregering av indikatorer: *«However, aggregation should be approached with care, and it would be useful for SEEA EEA to develop or refer to good practices for aggregation of condition variables, metrics and indicators. The need for ecological intelligence in the aggregation process should be emphasised, as is it quite possible to develop an index or composite indicator that is not ecologically meaningful (i.e. that does not reflect anything sensible about the overall condition or changes in condition of an ecosystem type or asset). It is essential to involve ecologists with expertise in the realm, ecological region and ecosystem types concerned in the development of aggregate measures of condition.»* (Maes et al. 2019). Arbeidsgruppene for arktiske økosystemer legger til grunn at det ikke fins tilstrekkelig kunnskap om disse økosystemene til på faglig grunnlag å kunne konstruere aggregerte indekser på hverken egenskaps- eller økosystemnivå.

Aggregering av kvantitative indikatorer gir også utfordringer i form av vurdering av statistisk usikkerhet, siden sammenhengen mellom den aggregerte indeksen og økologisk tilstand har flere lag av variasjon (variasjon i rom og tid med mulig autokorrelasjon, variasjon mellom indikatorer som bruker delvis samme og ulike datasett, variasjoner i relasjonen mellom indikator og egenskap, variasjon mellom egenskaper). Det finnes metoder for å håndtere komplekse variasjonskilder, f. eks. parametrisk bootstrap med avanserte statistiske modeller (Lillegard et al. 2005). Men den største utfordringen med å beregne kvantitative usikkerhetsestimater for aggregerte indekser er at det er ukjent variasjon og skjevhet (bias) i indikatorenes dekning/refleksjon av økosystemegenskaper. Denne utfordringen fins det ikke noen umiddelbar løsning på.

1.2 Bruken av fageksperter i indeksbaserte og fagpanelbaserte vurderinger

Prosessen frem mot samlet vurdering basert på de to metodiske tilnærminger, indeksprinsippet og fagpanelprinsippet, har både likhetstrekk og viktige forskjeller (**figur 1.1**). Den mest åpenbare forskjellen er at indeksprinsippet baserer seg på kvantitative estimater for både god tilstand (referanseverdi), og avvik fra god tilstand (grenseverdi), og at samlet vurdering, etter at disse estimater er satt, dermed er en enkel aritmetrisk beregning. Fagpanelprinsippet kan baseres på enten kvantitativ eller kvalitativ informasjon (eller kombinasjoner av begge) for både god tilstand og avvik fra god tilstand. Denne fleksibiliteten kommer på bekostning av å kunne oppsummere

³ “Relevance: ecosystem characteristics (and their indicators) should be relevant in terms of the fundamental purpose (intrinsic or instrumental) that can be linked to ecosystem condition accounts.” “Intrinsic” betyr “integrity of the ecosystem in terms of its structure, function and composition, and the intactness/degradation of the ecosystem in terms of ecological ‘distance’ from an initial or reference state” og instrumental “capacity to supply specific ecosystem services, with both use and non-use values” (Keith et al. 2019)

⁴ “State orientation: ecosystem characteristics and indicators should describe the state of the studied (ecological or socio-ecological) system”

⁵ «Ecosystem characteristics describe the system properties of the ecosystem in the categories of vegetation, water, soil, biomass, habitat and biodiversity, with examples of characteristics including slope, temperature, soil type, vegetation type, and water quality. “ (Keith et al. 2019)

⁶ “Given also that climate is already very well covered with indicators and policy attention in other policy domains, it could be proposed that climate is not addressed directly by SEEA EEA condition indicators “

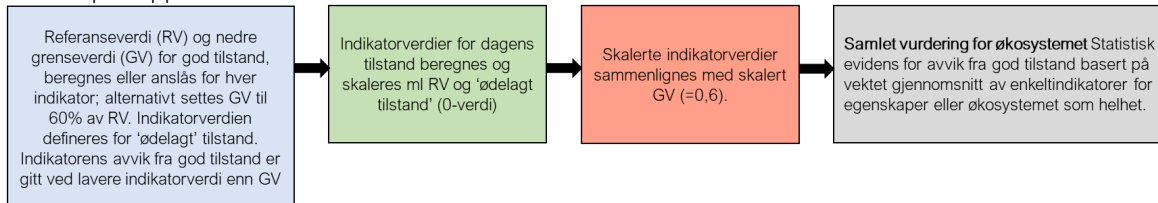
den samlede vurderingen av økosystemets tilstand med enkel aritmetikk. Den andre store forskjellen mellom de to prinsippene er håndteringen av svak eller manglende empiri. I indeksprinsippet tillates det at kvantitative estimater på referanseverdier, grenseverdier og deres usikkerheter, anslås av en ekspert, dersom de ikke kan beregnes direkte fra data, eller fra modeller basert på data. Slik bruk av fagekspert for å anslå referansetilstander eller grenser for dårlig tilstand er både vidt utbredt og kraftig kritisert (f.eks; Feio et al. 2016, Morgan 2014, Segurado et al. 2011, Whittier et al. 2007). Videre tillates det at grenseverdier settes til en fast % av referanseverdien dersom man ikke har kunnskap som tillater anslag fra en ekspert. Sistnevnte metoder rangeres på absolutt laveste nivå i 'evidenshierarkiet' i kunnskapsbasert vurdering (Mupepele et al. 2016)⁷, og representerer antatte verdier som man ikke kjenner den biologiske betydningen av. Man vet dermed heller ikke om slike grenseverdier faktisk representerer en overgang fra god til dårlig tilstand. Bruken av ekspertvurderinger i Naturindeksen er også kraftig kritisert i et nylig arbeide gjort på oppdrag fra Miljødirektoratet. I en vurdering av Naturindeksen for fjell og våtmark (Pedersen et al. 2018) konkluderte man dels at «*Indeksverdiene beregnet for fjell og våtmark er i hovedsak basert på svært usikre ekspertvurderinger*» (s. 3), og videre «*Vår oppfatning er at analysene presentert her viser at slike subjektive estimat av indikatorstilstander gjennomgående er for usikre og derfor har en svært begrenset verdi som grunnlag for forvaltningen av norsk natur*» (s. 90). Indeksprinsippet er basert på en tilsvarende bruk av ekspertvurderinger som Naturindeksen, og er dermed beheftet med samme utfordringer. Fagpanelprinsippet er strengt datadrevet til sammenlikning. Alle indikatorverdier må beregnes fra data eller datainformerte modeller, og usikkerheter i disse kan ikke anslås av eksperter. Fagekspertenes rolle i fagpanelprinsippet er å formulere, og begrunne vitenskapelig, hvordan og hvorfor endringer i hver enkelt indikator (øking, minking, overskridelse av grenseverdier) utgjør en utvikling mot dårligere tilstand. Videre skal fagekspert delta i et bredt sammensatt panel, som har til oppgave å vurdere graden av evidens for endringer i alle indikatorer, samt årsakene til og konsekvensene av avvik for økosystemets samlede tilstand. Slik bruk av fagekspert har blitt en standard i vurderinger av komplekse systemer, f.eks. i IPCC (Mach et al. 2017) og IPBES (IPBES 2018).

Resultatet av disse to grunnleggende forskjellene i den metodiske tilnærmingen i de to protokollene, er at fagekspert på økosystemet, på enkeltegenskaper eller -indikatorer spiller en ulik rolle i prosessen frem mot en samlet vurdering. Det betyr likeledes at konsekvensene av at ekspertene gjør 'feil' er ulike. Et feilsteg i ekspertvurdering i indeksprotokollen (f.eks. feilaktige antakelser om referanseverdier, eller grenseverdier som ikke representerer biologisk betydelige overganger til dårlig tilstand) resulterer i at den samlede vurderingen blir gjort på feil *premisser*. Fordi det tas gjennomsnitt på tvers av indikatorer, så vil dette nødvendigvis påvirke vurderingen for egenskapen og økosystemet. Et feilsteg i fagpanelprotokollen vil resultere i at det gjøres en feilaktig eller utilstrekkelig vurdering av det berørte fenomenet. Det påvirker altså ikke premissene for vurderingen, men selve *vurderingen*. Det *kan* påvirke vurderingen på egenskaps- eller økosystemnivå, dersom det berørte fenomenet er utslagsgivende for egenskapens samlede vurdering.

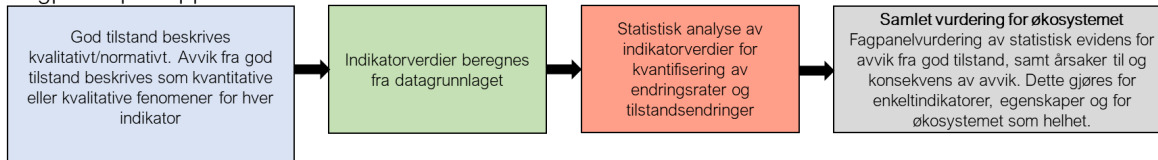
Fagekspert har en tredje rolle som er felles for begge metodiske tilnærminger, og det er som uavhengige fagfeller («peers») i gjennomføringen av fagfellevurderinger. Fagfellevurdering er gullstandarden for kvalitetssikring av kunnskap, og bør spille en sentral rolle også i et fagsystem som vurderer økosystemers tilstand. Åpen fagfellevurdering der alle trinn i vurderingsprotokollene er dokumentert og blir vurdert, vil øke kredibiliteten til fagsystemet både nasjonalt og internasjonalt og bidra til bedre vurderinger ved raskt å påpeke styrker og rom for forbedring.

⁷ "The lowest level of evidence are statements without underlying data (LoE4). These are usually individual expert opinions, often not distinguishable from random". Mupepele et al. 2016.

Indeks-prinsippet



Fagpanel-prinsippet



Figur 1.1 Oversikt over prosessen frem mot samlet vurdering ifølge indeksprinsippet og fagpanelprinsippet. Etablering av referanser for hva som utgjør et avvik fra god tilstand (blå), beregning/fastsetting av tilstandsverdier for enkeltindikatorer (grønn), kvantitativ vurdering av indikatorverdier relativt til referansen (rød), og samlet vurdering (grå). Bruken av ekspertvurderinger forekommer på ulikt tidspunkt i prosessen. I indeksprinsippet benyttes ekspertvurderinger til å anslå referanseverdier (RV), og grenseverdier (GV) og potensielt indikatorverdier med tilhørende usikkerhet, dersom disse ikke kan beregnes direkte fra datagrunnlaget, dvs. i fasen tilknyttet blå, grønn og rød boks. Slike ekspertvurderinger relatert til enkeltindikatorer kan bygge på vitenskapelig litteratur, ulike datakilder, og forskerens kunnskap om indikatoren. I fagpanelprinsippet benyttes et bredt sammensatt panel av eksperter på det aktuelle økosystemet til å vurdere kvaliteten på de anvendte fenomener, graden av statistisk og økologisk evidens for at det har forekommet endringer som representerer et biologisk betydelig avvik fra god tilstand, samt den samlede betydningen av disse for egenskaper og økosystemet som helhet (grå boks).

1.3 Evaluering av indeksprinsippet for vurdering av økologisk tilstand

Her følger en evaluering av indeksprinsippet som anvendt for å vurdere økologisk tilstand. Vi understreker at evalueringen kun gjelder bruk av indeksprinsippet for å vurdere økologisk tilstand etter kravene i fagsystemet. Evalueringen gjelder ikke anvendelse av prinsippet for andre formål, som for eksempel innen Vannrammedirektivet. Indeksprinsippet for vurdering av økologisk tilstand er beskrevet i Nybø et al. (2019). For å kunne anvende prinsippet, må det for hver indikator være mulig å tallfeste referanseverdier for intakt natur og grenseverdier for god økologisk tilstand. Videre må det være mulig å skalere hver indikator mot et nullpunkt definert som «helt ødelagt» tilstand for indikatoren. Og sist må være mulig å estimere en indeks på tvers av indikatorer og økosystemegenskaper som gir et økologisk meningsfullt og robust estimat. Vi mener følgende om disse fire forholdene:

1. Referanseverdier for relativt upåvirket natur kan som en hovedregel ikke estimeres empirisk grunnet manglende data fra upåvirkede perioder, og manglende data-informerte modeller som kan brukes til å beregne dem (Planque 2016). Dette er eksempelvis godt illustrert av forsøk på å beregne historiske bestandsstørrelser for marine havpattedyr som konkluderer med svært store usikkerheter (Roman & Palumbi 2003, Skaug et al. 2007)⁸. Her skiller økologien seg sterkt fra klimatologien, der man har modeller for klimasystemer basert på til dels svært velkjente fysiske forhold, lange direkte måleserier

⁸ "Estimates for fin and humpback whales are far greater than those previously calculated for prewhaling populations and 6 to 20 times higher than present-day population estimates. Such discrepancies suggest the need for a quantitative reevaluation of historical whale populations and a fundamental revision in our conception of the natural state of the oceans." Roman & Palumbi 2003.

og enda lengere indirekte proxyer for før-industrielt klima. Man kan dermed simulere fravær eller varierende grad av påvirkning fra menneskelige drivere. I økologien finnes tilsvarende modeller ikke, og det kan da være fristende å anvende eksperteranslag på indikatorens verdi i upåvirket tilstand. Slike vurderinger har imidlertid vist seg å være lite pålitelige⁹ (Drescher & Edwards 2019, Morgan 2014, Segurado et al. 2011), som også påpekt i forrige rapport (Jepsen et al. 2018).

2. Grenseverdier for god økologisk tilstand vil være problematiske å estimere i fagsystemet, fordi det krever en god forståelse ikke bare av hvordan menneskeskapte drivere påvirker økosystemet, men også av hvilke spesifikke *nivåer* av endringer som representerer overgang til dårlig tilstand. Videre ligger der viktige, uuttalte, antakelser til grunn når man setter kvantitative grenseverdier *a priori* for hver indikator, nemlig at hver grenseverdi er uavhengig av hva som skjer ellers i økosystemet. Med andre ord antar man at det ikke finnes interaksjoner mellom en indikators terskelverdi for dårlig tilstand og tilstanden til andre indikatorer. Selv for relativt enkle indikatorer er slike kvantitative sammenhenger mellom menneskeskapte drivere (f.eks. høsting, eller temperaturøkning) og indikatorrespons (f.eks. endring i abundans) langt fra trivielle å etablere (Arneberg & Jelmert 2017, Ims et al. 2013, Samhouri et al. 2017). Terskelverdier, hvor økosystemet antas å kunne endre seg raskt og på måter som kan være irreversible, har pekt seg ut som naturlige kandidater for grenseverdier. Evalueringer av også denne tilnærmingen har imidlertid vist at slike terskelverdier generelt ikke lar seg identifisere, enten fordi terskelverdier ikke forekommer eller fordi vi ikke har robuste metoder til å estimere dem (Clements & Ozgul 2018, Dakos et al. 2015, Doney & Sailley 2013, Groffman et al. 2006). Om en likevel forsøker å anslå grenseverdier, er det derfor overveiende sannsynlig at en ender opp med grenseverdier som er mer eller mindre vilkårlige. Det er ikke sannsynlig at nye modeller og data vil kunne endre mye på dette bildet i løpet av de neste 5-10 årene. Det er og verd å merke seg at grenseverdier, selv om de kunne vært satt, med stor sannsynlighet ville variere betydelig i tid og rom (Yates et al. 2018).
3. Selv om et nullpunkt definert ved «helt ødelagt» tilstand lett kan defineres for en del indikatorer, som for eksempel bestandsstørrelse av en art, hvor nullpunktet er at arten er forsvunnet fra økosystemet, er det imidlertid ikke opplagt hvordan dette kan gjøres for en del andre indikatorer. Dette gjelder blant annet enkelte abiotiske indikatorer, som temperatur, hvor det er langt fra trivielt å definere hva som representerer «helt ødelagt» tilstand. Det samme kan gjelde for en rekke komplekse biologiske indikatorer, som for eksempel knyttet til fordeling av biomasse mellom trofiske nivå, endringer i diversitet av funksjonelle grupper og artsutskiftingsrater. Dette gjør at indekstilnærmingen legger begrensninger på hvilke indikatorer som kan inkluderes i vurderingen.
4. Det er beskrevet ovenfor (kap 1.1) hvordan det er langt fra trivielt å utarbeide aggregerte indekser for ulike aspekter av tilstand i økosystemer, og at det i litteraturen derfor er uttrykt at en må vise stor forsiktighet i utarbeidelse og anvendelse av aggregerte indekser (Maes et al. 2019, Wentworth Group 2008, Wentworth Group 2016). Det er verd å merke seg at forfatterne av den samlede indeksen for miljøtilstand i Australia, det landet som har kommet lengst innen miljøregnskaper, advarer mot at indeksen er subjektiv¹⁰ og at det begrenser bruken. I protokollen for indeksprinsippet er denne problematikken rundt kompleksiteten ved indekstilnærmingen ikke drøftet inngående. Snarere er det lagt opp til en svært enkel aritmetisk tilnærming hvor det regnes et uvektet snitt på tvers av indikatorer innen hver egenskap og så et snitt på tvers av egenskap uten en drøftelse av hvordan ulike egenskaper og indikatorer er forbundet med hverandre og uten betraktninger om den økologiske betydningen av ulike estimater fra indikatorene.

⁹ "Although it may be tempting to view expert elicitation as a low-cost, low-effort alternative to conducting serious research and analysis, it is neither. Rather, expert elicitation should build on and use the best available research and analysis and be undertaken only when, given those, the state of knowledge will remain insufficient to support timely informed assessment and decision making." Morgan 2014. Proc. Nat. Acad. Sci. America 111:7176-7184.

¹⁰ «An experimental Environmental Condition Score (ECS) combines seven indicator values. The ECS represents a subjective and incomplete measure» <http://www.ausenv.online/2018> (lest 31-05-2019)

De fire forholdene som ligger til grunn for indeksprinsippet kan derfor ikke sies å være tilfredsstillende i tilstrekkelig grad. Det er verd å merke seg at selv om det hadde vært mulig å estimere referanse- og grenseverdier samt skalere alle indikatorer, så innebærer problemene med å utarbeide en samlet indeks som skal representere økologisk egenskap både innen hver egenskap og for økosystemet som helhet, at metoden ikke vil kunne gi en meningsfull og robust vurdering av økologisk tilstand. Det anbefales derfor at fagpanelprinsippet legges til grunn i det videre arbeidet med fagsystemet.

1.4 Romlig skala og forvaltningsrelevans

I mandatet for arbeidet med fagsystemet er det angitt at systemet skal kunne etableres for økosystemer på fylkes-/regionnivå, eller annet faglig basert, hensiktsmessig nivå. Et sentralt moment for forvaltningen er om vurderingene gjøres på en skala som fanger sentrale økologiske prosesser. For eksempel beveger mange fiskebestander og større terrestriske rovdyr seg over store avstander og er samtidig ofte viktige for sentrale økologiske prosesser (Crooks & Soulé 1999, Jakobsen & Ozhigin 2011, Skjoldal 2004, Woodroffe & Ginsberg 1998). Andre eksempler er trofiske interaksjoner som skaper synkronisert dynamikk i nøkkelarter og hele næringsnett over store geografiske områder (Bjørnstad et al. 1999, Leibold et al. 2004, Liebold et al. 2004, McCann et al. 2005) og adveksjon av dyreplankton over større havområder med avgjørende betydning for økosystemdynamikk (Aarflot et al. 2017, Melle & Skjoldal 1998). For en helhetlig tilstandsvurdering som reflekterer økosystemets struktur og funksjon og som tar hensyn til naturlig dynamikk, vil det da være viktig at vurderingen av økologisk tilstand gjøres på en skala som er tilstrekkelig stor til å fange disse prosessene (Wiens 1989). For hav vil det bety at enheten for vurdering bør være større deler av et havområde, som for eksempel større deler av Barentshavet, Norskehavet eller Nordsjøen og Skagerrak. For terrestrisk miljø peker fylke eller større regioner seg ut som hensiktsmessig skala for vurdering av økologisk tilstand. Ved at mandatet har angitt nettopp denne skalaen som relevant for fagsystemet, har en truffet godt det som også er en økologisk relevant skala. Mange viktige drivere, som menneskeskapt påvirkning av klima, forurensning, fremmede arter og fiskerier varierer også over tilsvarende eller større skala, slik at vurderingene vil være tilstrekkelig finmasket til å fange opp variasjon i effekter av disse driverne.

I tillegg til at større skalaer, som beskrevet ovenfor, ofte vil være den relevante for å vurdere økologisk tilstand, bør en også av hensyn til datatilgang være svært forsiktig med å gjøre separate vurderinger på lokal skala. På lokal skala vil en som hovedregel ikke vil ha tilstrekkelig data til å gjøre en god vurdering. For eksempel er tilfanget av data for hovedøkosystemene fjell og våtmark i Norge så begrenset at Naturindeksen for 2015 kun ble beregnet for henholdsvis hele landet og 5 regioner (Framstad 2015). Av 64 indikatorer brukt i denne vurderingen, har 29 målinger med en geografisk oppløsning tilsvarende landsdelsvis observasjoner eller grovere. Kun seks av indikatorene fra fjell har en finere oppløsning enn fylkesvis observasjoner (Pedersen et al. 2018). Dersom vurdering av økologisk tilstand blir gjort uten tilstrekkelig datagrunnlag, øker sannsynlighet for at viktige avvik fra god økologisk tilstand ikke blir avdekket eller at det blir konkludert med avvik fra god tilstand der dette faktisk er feil. Hellere enn å fragmentere den informasjonen en har, bør en derfor aggregere den til skalaer hvor det kan gjøres meningsfulle vurderinger.

Når det gjelder marine økosystemer i åpne havområder gis det meste av rådgivningen til forvaltningen for relativt store geografiske enheter. For de helhetlige økosystembaserte forvaltningsplanene er de åpne havområdene (fra en nautisk mil utenfor grunnlinjen) delt inn i tre forvaltningsplanområder: Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten, Norskehavet og Nordsjøen med Skagerrak. Det faglige grunnlagsarbeidet for forvaltningsplanene følger denne inndelingen. Det inkluderer også rapporteringen fra arbeidet på miljøstatus.no. Fiskerirådgivning gjennom det internasjonale havforskningsrådet (ICES) gis i arbeidsgrupper for tilsvarende geografiske områder. Eksempler er «Arctic Fisheries Working Group» (AFWG) og «Working Group of Widely Distributed Stocks» (WGWIDE), som utarbeider grunnlag for råd om fiskerier i henholdsvis Barentshavet og Norskehavet. ICES har også etablert grupper for helhetlige økosystemvurderinger

som også følger samme inndeling (såkalte IEA-grupper), og hvor Norge er involvert gjennom styring og deltagelse i gruppene for henholdsvis Nordsjøen (WGINOSE), Norskehavet (WGINOR), Barentshavet (WGIBAR) og Polhavet (WGICA). OSPAR, MOSJ og det sirkumpolare overvåkingsprogrammet av biodiversitet i regi av CAFF (CBMP) er eksempler på andre rådgivningsprosesser som foregår på store skalaer.

I mandatet er det oppgitt at *«i økosystemet "Hav" skal utvikling av naturvitenskapelige kriterier for "god økologisk tilstand" foretas som del av arbeidet med forvaltningsplanene»*. Her vil fagsystemet ha en viktig rolle i Overvåkingsgruppens arbeid med å vurdere miljøtilstand. Sentralt i Overvåkingsgruppens arbeid er å vurdere hva som er de viktigste trekkene i miljøtilstand, samt ved hjelp av forskningslitteratur drøfte hvilke aspekter som kan være menneskeskapt og hvilke som mest sannsynlig representerer naturlig variasjon. Ved at fagpanelprotokollen tydelig løfter frem denne problemstillingen gjennom vurderingen av indikatorene (se kap 2.4), samt gir robuste vurderinger av tilstand, vil fagsystemet basert på fagpanelprotokollen kunne anvendes direkte inn i dette arbeidet. Det vil også kunne anvendes direkte i vurdering av samlet påvirkning og vurdering av oppnåelse av miljømål, hvor kunnskap om menneskeskapt bidrag til status utgjør den viktigste informasjonen. Begge disse vurderingsprosessene er helt sentrale i forvaltningsplanarbeidet (Anonym 2011, Anonym 2013, Anonym 2017, Faglig forum for norske havområder 2019b, Faglig forum for norske havområder 2019c). I tillegg vil en vurdering av økologisk tilstand med fagpanelprotokollen utgjøre viktig bakgrunnsinformasjon for andre prosesser i forvaltningsplanarbeidet, som vurdering av risiko knyttet til akutt forurensning (Faglig forum for norske havområder 2019a).

IEA-gruppene i ICES utarbeider et faglig grunnlag som kan brukes både inn mot fiskerirådgivning og miljørådgivning. Det bidrar blant annet til Overvåkingsgruppens vurdering av miljøtilstand i forvaltningsplanarbeidet (Arneberg et al. 2019, Arneberg & Jelmert 2017, Arneberg et al. 2018b) og gir bakgrunnsinformasjon for fiskerirådgivningen (ICES 2018). Fagpanelprotokollen ble presentert i et arbeidsmøte om metoder for IEA-gruppene våren 2019. Dette ble svært godt mottatt, og det ble fra det vitenskapelige sekretariatet i ICES oppfordret til å underlegge protokollen en kvalitetsvurdering i ICES slik at den kan få den nødvendige anerkjennelsen til å bli et sentralt verktøy i arbeidet med de helhetlige økosystemvurderingene i regi av ICES. På lignende måte har det vært drøftet en rolle innen OSPAR. Her mangler det indikatorer for region 1 (Norskehavet og Barentshavet). Det er åpnet for at dette kan fylles med allerede utviklede indikator- og vurderingssystem, og har det vært trukket frem at denne rollen kan fylles av fagpanelprotokollen. I MOSJ utarbeides det statusrapporter der en både søker å skille ut menneskeskapt signal i miljøtilstand samt vurdere oppnåelse av miljømål (Fauchald et al. 2014, Ims et al. 2014). På samme måte som i forvaltningsplanarbeidet vil statusvurderinger gjort ved bruk av fagpanelprotokollen kunne brukes direkte inn i slike vurderinger. Det samme gjelder også arbeid i CBMP, slik en kan lese det ut av den siste statusvurdering for marint miljø i Arktis (CAFF 2017).

Som en kan se foregår det mange vurderinger av miljøtilstand i norske havområder. For å konsentrere ressurser og effektivisere er det viktig å arbeide for å koordinere de ulike prosessene. Ideelt sett bør det for hvert område gjøres én kjernevurdering for miljøtilstand som kan suppleres med tilleggsinformasjon for ulike bruksområder. Det at fagpanelprotokollen representerer et systematisk og robust rammeverk for vurdering hvor en eksplisitt vurderer menneskeskapt bidrag versus naturlig variasjon, og hvor en også kan bygge og dokumentere kunnskap gjennom den formaliserte protokollen, gjør at dette prinsippet fremstår som egnet til å gi slike kjernevurderinger. Fagpanelprotokollen kan derfor få en sentral rolle i forvaltningsrådgiving og i anvendelse spenne fra miljøforvaltning til fiskeriforvaltning og både nasjonale og internasjonale prosesser.

På tilsvarende måte som i marint miljø, kan vurderinger gjort for terrestriske økosystemer med fagpanelprotokollen på region- eller fylkesnivå brukes i nasjonal og internasjonal rapportering. For arktiske økosystemer er utviklingsarbeidet gjort i CBMP, herunder utvikling av protokoller for datainnhenting, dataanalyse og sirkumpolare statusvurderinger, av sentral betydning (CAFF 2013, Ims et al. 2013). CBMP ligger til grunn en integrert økosystem-basert design i sine

anbefalinger (Christensen et al. 2013)¹¹, som er evidensbasert, og kunnskapsoppbyggende over tid. Statusvurderinger gjort ved bruk av fagpanelprotokollen vil kunne bidra direkte inn i dette arbeidet.

I terrestriske miljøer gjennomføres konkrete forvaltningstiltak på både regional og lokal skala. For eksempel skjer forvaltning av store rovdyr stort sett på nasjonal skala med lokale justeringer (for eksempel et nasjonalt fastsatt bestandsmål på 65 familiegrupper for gaupe med lokale justeringer gjennom kvoter for jakt), mens reindriftsforvaltningen baseres på en kombinasjon av nasjonale retningslinjer på bakgrunn av Reindriftsloven og lokale justeringer på nivå av reinbeiteområde/distrikt/siida. For skogtundraøkotonen som grenser til lavarktisk tundra ligger forvaltningsansvaret på fylkesnivå, mens det er grunneier (Finnmarkseiendommen) som har ansvar for å utarbeide lokale skogsbruksplaner. Her inngår forvaltningens behov for test av flere konkrete forvaltningstiltak allerede som en del av den økosystembaserte overvåkingen i COAT (f.eks. Vindstad et al. 2017). Kunnskapsbehovet i forbindelse med lokale tiltak berører typisk flere enkeltindikatorer med sterke interaksjoner; f.eks. hvordan gjenvækst av fjellbjørk avhenger av beiter regime hos rein (Biuw et al. 2014). En samlet vurdering av tilstand basert på fagpanelprotokollen vil tillate at forvaltningsråd i høyere grad kan relateres direkte til økologisk tilstand for enkeltindikatorer, egenskaper og økosystem i regionen. Mens planmyndighet ligger på kommunenivå, tas lokale avgjørelser med betydning for naturmangfold og økosystemer som regel på fylkesnivå. Her er utfordringen ofte å ha et tilstrekkelig godt helhetsbilde av tilstanden som gjør at inngrep og tiltak kan gjøres slik at overordnede trekk i miljøstatus forbedres (eller ikke forverres) for fylket som helhet. I dag er relevant miljøinformasjon i stor grad fragmentert, og forvaltningsmyndighet må derfor sette sammen informasjon fra forskjellige kilder, som for eksempel miljøstatus.no. Vurdering av økologisk tilstand på fylkesnivå eller regionalt nivå kan derfor gi den nødvendige helhetlige informasjonen forvaltningsmyndigheten trenger for å vurdere hvordan lokale forvaltningstiltak kan påvirke helhetsbildet.

Det betydelige arbeidet som legges ned i fagpanelprotokollen når det gjelder å vurdere hvordan ulike faktorer kan påvirke en indikator (se kap 2.4), betyr også at en vurdering gjort med denne protokollen ikke bare resulterer i en vurdering av økologisk tilstand, men også kommer med mye informasjon om påvirkning i systemet. Blant annet kan det komme frem informasjon om elementer i økosystemet som er spesielt utsatt for påvirkning og hva disse påvirkningene består i. Det kan brukes til å identifisere økosystemelementer det må tas spesielle lokale hensyn til for å bidra til god økologisk tilstand i det større økosystemet som det lokale området er en del av. I tillegg kan slik kunnskap ikke minst være viktig som grunnlag for å kommunisere mellom fylkes- og kommunenivå om lokale forvaltningstiltak.

Ofte vil et element som forvaltes være påvirket av ulike faktorer. Da er det viktig å forstå hvordan de ulike faktorene kan samvirke. For eksempel vil endringer i klima kunne påvirke hvordan jakt eller fiske påvirker en bestand. Hvordan bjørkeskog kommer seg etter målerangrep kan avhenge i hvilken grad det er beitedyr til stede, som betyr at forvaltning av skog og beitedyr må ses i sammenheng. I fagpanelprotokollen tas det eksplisitt hensyn til slike samvirkende effekter. Det skjer når en beskriver hvordan en forventer at ulike faktorer påvirker en indikator, der det sentrale er at all påvirkning skal tas i betraktning, også samvirke mellom faktorer (se kap 2.4). I noen tilfeller vil det også være mulig å følge opp dette i dataanalysene med statistiske modeller som forklarer for eksempel endringer i bestandsstørrelse av en jaktet eller rødlistet art som funksjon av effekter av abiotiske indikatorer (f. eks. knyttet til klima) og indirekte effekter av andre biotiske indikatorer som er sterkt forvaltet (for eksempel bestandsstørrelse av reinsdyr eller mellomstore

¹¹ The CBMP is adopting an integrated ecosystem-based approach to monitoring in its program design, organization, and operation (Fig. 1.1). The ecosystem-based approach integrates information across ecosystems, species, and their interactions, and lends itself to monitoring many aspects of an ecosystem within a geographic region. This approach considers the integrity of entire ecosystems and their interaction with other ecosystems. Although the complexity and data/analysis requirements far exceed those of the species approach, the rewards of the ecosystem-based approach are significant. It identifies important relationships, bridging ecosystems, habitats, and species and the impacts of stressors and drivers on ecological function. The resulting information contributes directly to adaptive management, enabling effective conservation, mitigation, and adaptive actions appropriate to the Arctic. Lastly, by connecting biodiversity to its supporting abiotic drivers, it will be possible to model future changes in biota as a result of anticipated changes in key drivers, thus providing decision makers with critical information to support proactive management approaches for the Arctic.

rovdyr) (Marolla et al. 2019). I sum betyr dette at fagpanelprotokollen legger til rette for en forvaltning der det tas hensyn til samspill mellom påvirkningsfaktorer. Det er nok en begrensning ved indeksprotokollen at en ikke kan gjøre slike vurderinger, fordi regning på gjennomsnitt av skalerte indikatorverdier aldri vil kunne fange denne typen samvirkende (direkte og indirekte) effekter.

1.5 Rapportens innhold

Denne rapporten sammenfatter resultatene og erfaringene fra utprøving av fagpanelprotokollen for arktisk del av Barentshavet og høy- og lavarktisk tundra. Rapporten omfatter følgende deler:

- En oppsummering av det metodiske rammeverket
- En separat oppsummering av anvendelsen av fagpanelprotokollen til samlet vurdering av økologisk tilstand i hhv arktisk del av Barentshavet og arktisk tundra. Protokollen er anvendt i sin helhet og anvendelsen illustrerer således alle trinn fra vurdering av kunnskapsgrunnlaget til presentasjon av samlet vurdering av tilstand
- Anbefalinger for videre overvåking og forskning for hvert økosystem
- En samlet gjennomgang av begge fagpanelers erfaringer med bruken av fagpanelprotokollen herunder konkrete anbefalinger for justeringer
- Overordnede anbefalinger om videre utvikling av fagsystemet.

Rapporten er vedlagt alle grunnlagsdokumenter, herunder den tekniske protokollen for fagpanelprinsippet (vedlegg 1), og utfyllte protokoller for hvert økosystem (vedlegg 2 og 3).

2 Det metodiske rammeverket

2.1 Økologisk tilstand, syv egenskaper ved økosystemer og to metodiske tilnærminger

I naturmangfoldloven er økologisk tilstand definert som «*status og utvikling for funksjoner, struktur og produktivitet i en naturtypes lokaliteter sett i lys av aktuelle påvirkningsfaktorer*». Med dette som utgangspunkt er det i grunnlagsrapporten fra ekspertrådet foreslått at «*God økologisk tilstand i norske økosystemer defineres ved at økosystemenes struktur, funksjon og produktivitet ikke avviker vesentlig fra referansetilstanden, definert som intakte økosystemer*» (Nybø & Evju 2017).

Intakte økosystemer er i ekspertrådets grunnlagsrapport beskrevet som økosystemer karakterisert av at viktige økologiske strukturer, funksjoner og produktivitet er ivarettatt, at de har fullstendige næringskjeder av stedegne arter og intakte kretsløp av næringsstoffer. Menneskelig påvirkning skal ikke være gjennomgripende eller endre strukturer, funksjoner eller produktivitet. Ekspertrådet foreslår å bruke klima slik det var i normalperioden 1961-1990 som beskrivende for intakt natur.

I grunnlagsrapporten til ekspertrådet er det definert syv egenskaper ved økosystemer som økologisk tilstand kan vurderes ut fra. I god økologisk tilstand skal disse egenskapene ikke avvike vesentlig fra tilsvarende egenskaper i et intakt økosystem. Egenskapene beskriver:

1. Primærproduksjon
2. Fordeling av biomasse mellom ulike trofiske nivåer (i det etterfølgende «Biomasse mellom trofiske nivåer»)
3. Funksjonell sammensetning innen trofiske nivåer (i det etterfølgende «Funksjonelle grupper»)
4. Funksjonen til funksjonelt viktige habitater, habitatbyggende arter og biofysiske strukturer (i det etterfølgende «Funksjonelt viktige arter og strukturer»)
5. Landskapsøkologiske mønstre
6. Biologisk mangfold representert ved økosystemenes genetiske mangfold, artssammensetning og artsutskifting (i det etterfølgende «Biologisk mangfold»)
7. Abiotiske (fysiske, kjemiske) forhold (i det etterfølgende «Abiotiske forhold»)

I arbeidet med oppfølgingen av ekspertrådets forslag til fagsystem er det utarbeidet to ulike metoder for vurdering av økologisk tilstand; Fagpanelprinsippet og Indeksprinsippet (kap 1). I denne rapporten er fagpanelprinsippet beskrevet og resultatene fra pilottester fra ett terrestrisk og ett marint økosystem rapportert. Indeksprinsippet er beskrevet i (Nybø et al. 2019), hvor også pilot-test fra fire terrestriske økosystemtyper i Trøndelag er rapportert.

Begge metodene er basert på at det utvikles indikatorer som kan brukes til å vurdere økologisk tilstand for hver av de syv økosystemegenskapene, der indikatorene kan være biotiske eller abiotiske variabler. I grunnlagsrapporten er gjengitt noen ideelle krav til indikatorer om at de bør være relevante og respondere på endringer i påvirkning, være enkle og lette å tolke, være godt fundert teknisk og vitenskapelig og være lette og kostnadseffektive å måle på en konsistent måte (OECD 2003). Evalueringer har imidlertid vist at disse kravene som en hovedregel ikke kan tilfredsstilles (Coll et al. 2016, Fu et al. 2015, Kleisner et al. 2015). Den samme erfaringen er gjort gjennom 12 års arbeid i den rådgivende gruppen for overvåking knyttet til det helhetlige

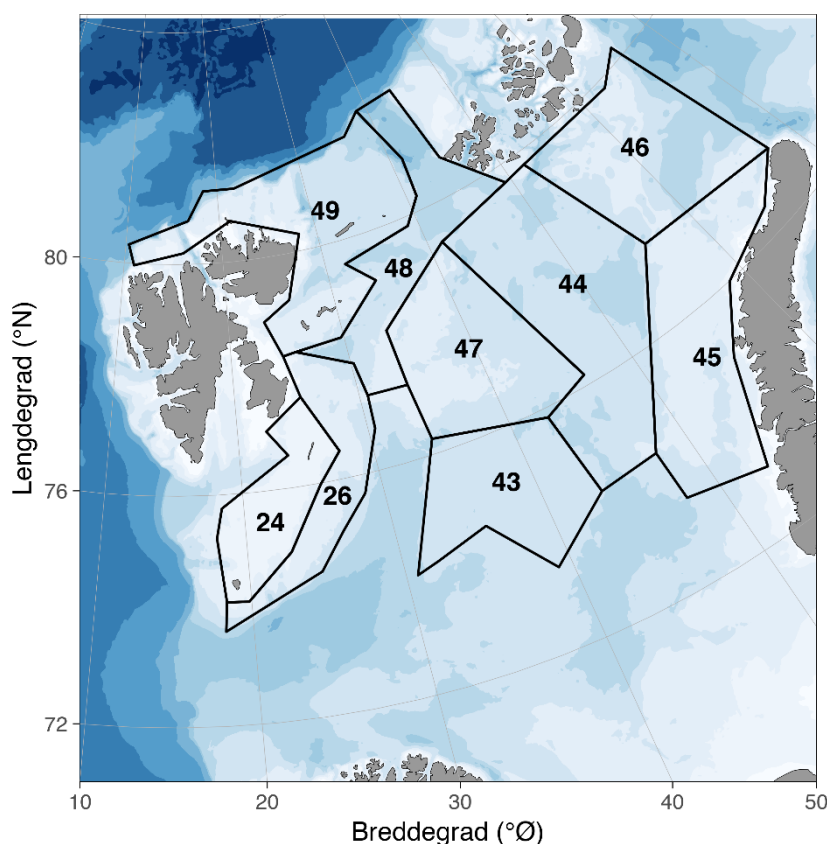
forvaltningsplanene for norske havområder (Overvåkingsgruppen). Særlig problematisk er kravene om at indikatorer skal respondere på påvirkninger på måter som skal være lette og enkle å tolke. Tvert imot så er det å forstå hvordan ulike drivere påvirker tilstand et komplekst problemfelt (f.eks. Yodzis 1988) og for det marine miljøet vurdert som det viktigste forskningsspørsmålet av et panel bestående av over 2000 forskere fra mer enn 90 land (Rudd 2014). Fagpanelprinsippet tar derfor utgangspunkt i at indikatorer må tolkes på en måte hvor en tar hensyn til kompleksiteten som er forbundet med øvelsen. Som redegjort for under (kap 2.3) innebærer det at man, som en hovedregel, ikke baserer vurderingene på å estimere referanse- og grenseverdier, men bruker en metode der informasjon fra forskningsarbeider trekkes inn bredt for å få gjort en vurdering som er både nyansert og faglig begrunnet. Dette tilsvarer i stor grad den vanlige tilnærmingen i naturvitenskapelig forskning, der kvantitative analyser ledsages av kvalitative vurderinger basert på forskningslitteraturen.

2.2 Økosystemer og geografisk avgrensning

Fagpanelprinsippet er testet for arktisk del av Barentshavet og arktisk tundra.

2.2.1 Arktisk del av Barentshavet

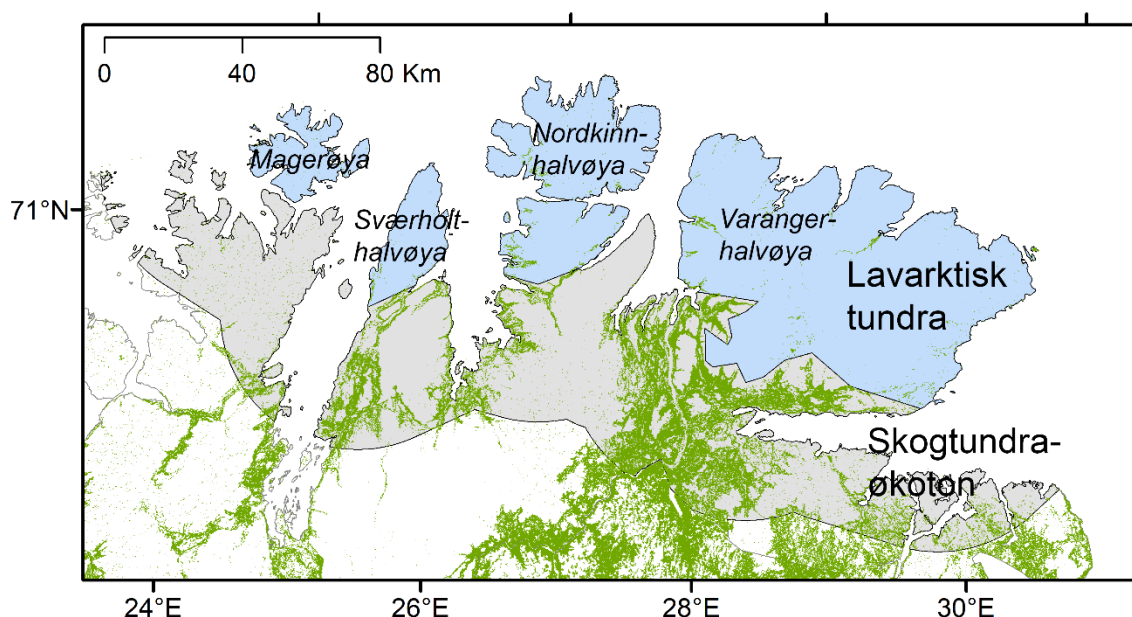
Pilotprosjektet for Barentshavet er avgrenset til arktisk del av Barentshavet, utenom sokkelkanten (**figur 2.1**). Dette omfatter arealer dominert av arktiske vannmasser og inntil nylig med regelmessig isdekke om vinteren. Det skilles ikke mellom bentiske og pelagiale økosystemer siden Barentshavet er forholdsvis grunt med et gjennomsnittsdyp på 230 meter, med betydelig sammenkobling mellom bentiske og pelagiale økosystemkomponenter. Området er videre inndelt i enheter med større grad av homogene oseanografiske forhold.



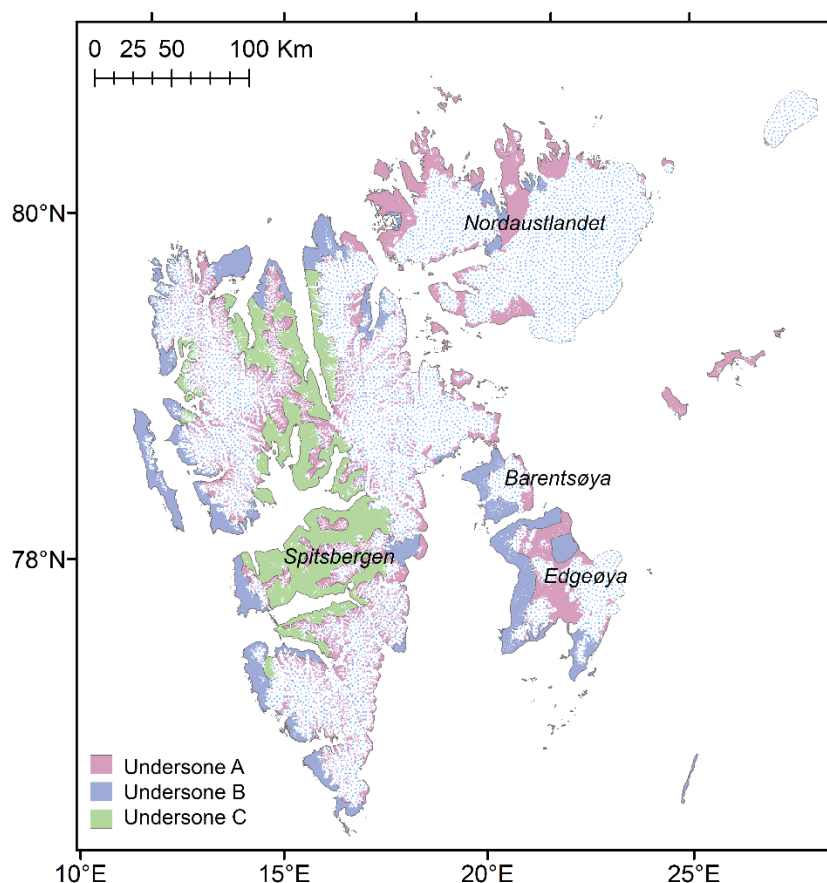
Figur 2.1 Kart som viser arktisk del av Barentshavet, med underområder (polygoner). Polygoninndelingen er basert på inndelingen i NoBa Atlantis vegg-til-vegg økosystemmodell (Hansen et al. 2016).

2.2.2 Lav- og høyarktisk tundra i Finnmark og på Svalbard

Pilotprosjektet omfatter terrestriske økosystemer i Arktis, sammenfattet som arktisk tundra i lavarktiske undersoner i Finnmark og høyarktiske undersoner på Svalbard. Avgrensingen mellom den sørligste lavarktiske undersonen og nordboreal sone følger inndelingen til systemet Natur i Norge (NiN) ved at alle arealer som ligger mellom den polare skoggrensa og kysten, uten forekomst av skogsmark imellom, regnes som lavarktisk sone (**figur 2.2a**). Økologisk tilstand i lavarktisk sone påvirkes også av den tilgrensende skogtundra-økotonen. Det er derfor inkludert noen indikatorer som representerer tilstanden i både lavarktisk tundra og skogtundra. Det er ikke mulig å sette en entydig biologisk begrunnet grense for hvilken geografisk skala slike økoton-indikatorer bør vurderes på. I pilottesten av fagsystemet er derfor den geografiske avgrensningen av skogtundraøkotonen definert som en fast buffersone på 40 km sør for den lavarktiske tundraen. For høyarktisk tundra inkluderes hele Svalbard unntatt Bjørnøya (**figur 2.2b**).



Figur 2.2a Kart over områdene med lavarktisk i Finnmark (blått) ifølge definisjonen anvendt i NiN og i denne pilottesten. En presis avgrensning av økosystemet har ikke vært en del av pilotprosjektet, og det har dermed ikke vært gjort forsøk på å gi en nærmere definisjon av, eller avgrensning mot, den polare skoggrensa. Dette er imidlertid fullt mulig basert på dagens kartgrunnlag. Endelig avgrensning av lavarktisk tundra må sees i sammenheng med avgrensningen av hovedøkosystemene skog og fjell i Finnmark. Avgrensningen av skogtundraøkotonen anvendt i pilottesten er vist i grått og utbredelsen av skog med grønt.



Figur 2.2b Kart over områdene med høyarktisk tundra på Svalbard. Utbredelsen av de tre høyarktiske bioklimatiske undersonene A, B og C slik de er definert av CAVM (2003) er vist med farger, mens isdekt areal er stiplet.

2.3 Metodisk rammeverk for indeksprinsippet

2.3.1 Overordnet rammeverk

Indeksprinsippet ligger tett opp mot tilnærmingen anvendt i Naturindeksen. Sentralt i denne tilnærmingen er at ulike indikatorer som representerer egenskaper ved økosystemets tilstand, skal kunne sammenstilles kvantitativt til et samlet tall for økosystemets tilstand. Siden ulike indikatorer måles i forskjellige enheter, skaleres indikatorverdiene til en felles måleskala mellom 0 og 1 (Nybø et al. 2019). Metoden krever at det for hver indikator tallfestes i) en referanseverdi tilsvarende indikatorens verdi i intakt tilstand, ii) en nedre grenseverdi for god tilstand/overgang til dårlig tilstand, samt iii) et nullpunkt der indikatoren er i «helt ødelagt» tilstand. Skaleringen av hver indikator gjøres da mellom nullpunktet (skalert verdi=0) og referanseverdien (skalert verdi=1). Den økologiske tilstanden for en økosystemegenskap, eller for økosystemet som helhet beregnes deretter som et gjennomsnitt (evt. et vektet gjennomsnitt) av de skalerte indikatorverdiene.

2.3.2 Beskrivelse av vurderingsprosessen

Vi viser til Nybø et al. (2019) for en detaljert beskrivelse av vurderingsprosessen i indeksprinsippet.

2.4 Metodisk rammeverk for fagpanelprinsippet

2.4.1 Overordnet rammeverk

Fagpanelprinsippet er inspirert av tilnærmingen til vurderinger i IPCC og IPBES. Sentralt i tilnærmingen er en strukturert vurdering av graden av evidens for at de enkelte indikatorer, økosystemegenskaper, og økosystemet som helhet, endrer seg så mye at det representerer en overgang til dårligere tilstand. Vurderingen gjøres av et bredt sammensatt fagpanel bestående av personer med ekspertise på det aktuelle økosystemet. Den er basert på en grundig oppsummering av datagrunnlagets kvalitet, en formalisert beskrivelse av hvordan hver indikator forventes å endre seg i retning dårligere tilstand som følge av påvirkning fra de menneskeskapte driverne i økosystemet, en statistisk analyse av indikatorverdier for å vurdere om de forventede endringene har inntruffet og til slutt en samlet vurdering av økologisk tilstand etter samme hovedlinjer som i IPCC og IPBES.

2.4.2 Beskrivelse av vurderingsprosessen

Fagpanelprinsippet baserer seg på en vurdering av om målte indikatorverdier gjennom tid har endret seg i en grad som indikerer påvirkning fra menneskeskapte drivere, samt om disse endringer er biologisk betydelige. Dette gjøres ved først å beskrive en forventning om hvordan hver indikator endrer seg som resultat av de viktigste menneskelige drivere i systemet og deretter å begrunne hvorfor en forventer denne endringen. En slik formalisert forventning kalles et «fenomen» og er definert som «endringer fra referansetilstanden - med retningsangivelse - som kan indikere påvirkning av en eller flere endringsdrivere». Beskrivelsen av fenomener er basert på kunnskap en kan trekke ut fra litteraturen om effektene av ulike påvirkninger i økosystemet. Samtidig vurderes det også hvor sikker en er på koblingen mellom driver(e) og indikator, og om den forventede endringen er biologisk betydelig. Også dette er basert på litteratur. Deretter vurderes det i hvilken grad fenomenene (dvs. de forventede endringene) faktisk har inntruffet. Dette er basert på statistiske analyser av tidsseriene, eller annet datagrunnlag, for hver enkelt indikator. På bakgrunn av disse analysene vurderes det hvor sikre disse endringer er (statistisk signifikans og datadekning) samt hvilken økologisk betydning de har. Til slutt gjøres det en samlet vurdering for hver av de syv økosystemegenskapene. Dette gjøres ved å se på totalbildet fra vurderingene av hver enkelt indikator. Her spiller det en rolle i hvilken grad fenomenene har inntruffet, hvor betydelige endringene er, hvor sikker en er på at inntrufne endringer skyldes menneskeskapte drivere og hvor godt de egenskapene er dekket av indikatorer med tilstrekkelig datatilgang i rom og tid. Dette siste aspektet må særlig komme i betraktning i tilfeller der det ikke er evidens for at fenomener har inntruffet og egenskapen dermed ikke har endret tilstand. Videre vurderer en også om det finnes entydige sammenhenger mellom ulike indikatorer i det totale endringsbildet. Dimensjonene for vurdering er illustrert i **figur 2.3** og tilsvarer en økosystemvariant av de to vurderingsaksene «confidence in detection» og «confidence in attribution» i IPCC sitt hovedrammeverk for vurdering av menneskeskapte klimaendringer (Cramer et al. 2014, Stone et al. 2013). I IPCC brukes aksene til å beskrive i) hvor sikker man er på at en observert endring er ut over den naturlige variasjonen (*confidence in detection*) og ii) hvor mye av endringen man kan tilskrive klimaendringer (*confidence in attribution*). I fagsystemet skal man ikke kun vurdere klimaendringer, men alle typer menneskelige påvirkninger. I tillegg skal endringene vurderes spesifikt i forhold til om de bidrar til dårligere økosystemtilstand. I fagpanelprotokollen beskriver aksene dermed i) hvor sterk evidens det er for endringer i indikatorens verdi (basert på endringsrate og statistisk signifikans) og hvor sikre er vi på at disse er biologisk betydelige (e.g. bidrar til dårligere økologisk tilstand; aksene EF), og ii) hvor sikre er vi på at endringene skyldes menneskelige drivere (aksene VF). Jo høyere innplassering man har på begge disse aksene, jo sikrere kan man dermed være på at man har observert biologisk betydelige endringer i retning dårlig tilstand og at disse endringer forekommer i indikatorer der man kan en god forståelse for betydningen av menneskelige drivere. Definisjonene av de to aksene finnes i **figur 2.4**. Det legges vekt på kvaliteten av dataene i vurderingene, også det som i IPCC. Den samlede vurderingen av økologisk tilstand for alle økosystemegenskapene gis som en oppsummering av

resultatet for hver økosystemegenskap. Arbeidet med indikatorene og alle vurderingene gjøres av et panel av fagekspert, hvor konklusjonene vil være basert på konsensus. Under oppsummerer vi kort hvert steg i en samlet vurdering basert på fagpanelprotokollen. Vi viser i øvrig til den tekniske protokollen (vedlegg 1 til denne rapporten) for detaljer.

1. **Data:** En redegjørelse for datagrunnlaget anvendt for hver enkelt indikator, inkl. hvor disse data befinner seg, hvem som har ansvar for disse knyttet til fagsystemet og kortfattet om hvilke metoder datainnsamlingen baserer seg på.
2. **Indikatorer:** En redegjørelse for hvilke statistiske metoder som er anvendt for å beregne indikatorverdier basert på datagrunnlaget. Punkt 1 og 2 suppleres av et omfattende appendiks der indikatorverdier og grunnlagsdata er vist grafisk og eventuelle supplerende metoder er redegjort for.
3. **Fenomener:** En oversikt over alle fenomener som er anvendt i vurderingen. Hvert fenomen begrunnes i en tekst som skrives etter en fast mal. Denne teksten skal underbygges med forskningslitteratur, slik alle begrunnelser kan etterprøves og utfordres av fagfeller. Disse begrunnelser forfattes av den dataansvarlige forsker som kjenner datagrunnlaget best, men etterprøves av fagpanelet.
4. **Egenskaper:** En tabell som inneholder en beskrivelse av hvilken rolle hver indikator (evt. gruppert i sett av beslektede indikatorer), har for vurderingen av egenskapens tilstand. Denne inneholder så langt det er mulig en normativ beskrivelse av hva som kjennetegner god tilstand for en gitt indikator/indikatorsett under den gitte egenskapen.
5. **Samlet vurdering:** Den samlede vurderingen består av tre deler, og gjøres i sin helhet av fagpanelet.
 - En vurdering av kunnskapsgrunnlaget, herunder den tidsmessige og romlige representativitet av hvert datasett, indikatorens samlede datadekning og egenskapens samlede indikatordekning.
 - En vurdering av de anvendte fenomener. Denne gjøres langs de to beskrevne akser EF og VF (**figur 2.3, figur 2.4**)
 - En samlet vurdering av økologisk tilstand for hver enkelt egenskap og for økosystemet som helhet basert på hvordan alle fenomenene innplasserer seg i vurderingsmatrisen. Den samlede vurdering gjøres til tre kategorier som tildeles etter retningslinjene beskrevet i **boks 1**.

Boks 1. Retningslinjer for tildeling av kategorier for avvik fra god tilstand.

Mandatet slår fast at «Systemet skal være langt enklere enn systemet som er etablert for oppfølging av vannforskriften. Det skal fokuseres på hva som er god tilstand, og ikke andre klassegrensene». I tråd med dette oppsummeres fagpanelprotokollens vurdering til tre avviksklasser, som beskriver om indikatorer og egenskaper er i god tilstand, i dårlig tilstand eller i en mellomklasse, der man ser en utvikling mot dårlig tilstand.

Ingen avvik fra god økologisk tilstand:

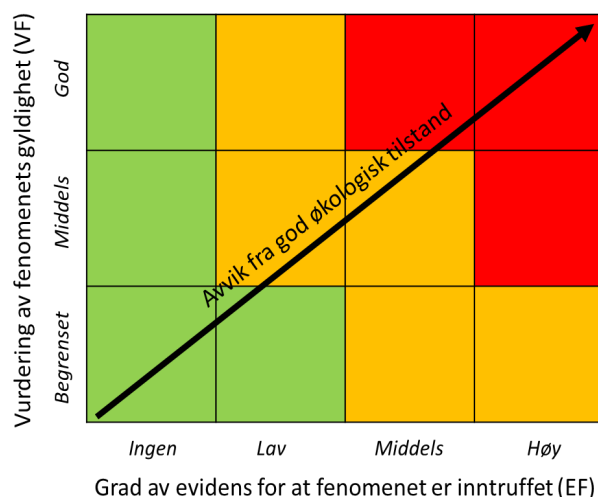
Egenskaper som vurderes til denne kategorien er samlet sett i god økologisk tilstand. Når man konkluderer med Ingen avvik fra god økologisk tilstand bør flesteparten av fenomenene forekomme i de grønne celler i **figur 2.3**. Dersom noen forekommer i oransje eller røde celler må konklusjonen om Ingen avvik begrunnes i beskrivelsen av vurderingen. Ingen avvik er konklusjonen dersom det ikke er evidens for at noen fenomener har inntruffet (EF = 'Ingen' for alle fenomen). Det vil også være konklusjonen dersom det er lav evidens for endringer i fenomener med begrenset gyldighet (VF='Begrenset') siden det knyttet seg svært stor usikkerhet til slike grunnet usikre koplinger til drivere og mindre god forståelsen av indikatorens rolle i økosystemet.

Begrensede avvik fra økologisk tilstand:

Egenskaper som vurderes til denne kategorien viser samlet sett en utvikling mot dårlig tilstand, men denne utviklingen er hverken tilstrekkelig entydig eller omfattende til å vurdere at egenskapen samlet sett er i dårlig tilstand. Når man konkluderer med Begrensede avvik fra god økologisk tilstand bør flesteparten av fenomenene forekomme i de oransje celler i **figur 2.3**. Dersom noen forekommer i grønne eller røde celler må konklusjonen om Begrensede avvik begrunnes i beskrivelsen av vurderingen. Begrensede avvik er konklusjonen når det er lav evidens for endringer i de fleste fenomener (EF='Lav'). Det er også konklusjonen dersom noen fenomener har høy evidens for endringer, men kun dersom de samme fenomener er av middels-begrenset gyldighet. Selv høy grad av evidens for endringer kan dermed resultere i konklusjonen 'Begrensede avvik' dersom disse endringer forekommer i fenomener der man er mindre sikker enten på koplingen til menneskelige drivere eller har mindre god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet.

Betydelig avvik fra god økologisk tilstand:

Egenskaper som vurderes til denne kategorien er samlet sett i dårlig økologisk tilstand. Når man konkluderer med Betydelige avvik fra god økologisk tilstand bør flesteparten av fenomenene forekomme i røde celler i **figur 2.3**. Dersom noen forekommer i oransje eller grønne celler må konklusjonen om Betydelige avvik begrunnes i beskrivelsen av vurderingen. Betydelige avvik er konklusjonen dersom det for hoveddelen av fenomenene er høy grad av evidens for endringer (EF=Middels/Høy) og fenomenene samtidig er vurdert å ha middels-god gyldighet (VF=Middels/God). En konklusjon om Betydelige avvik fra god økologisk tilstand, bør dermed være basert på store endringer i fenomener der man har relativt sikre koplinger i menneskelige drivere og en relativt god forståelse for indikatorens rolle for egenskapen og dermed betydningen av slike endringer i økosystemet.



Figur 2.3. Matrise som brukes til samlet vurdering av økologisk tilstand på tvers av alle fenomener innen en økosystemegenskap. Resultatet fra hvert fenomen plasseres i en av cellene i matrisen. Plassering langs den horisontale akse (EF) er bestemt av graden av evidens for at endringer i retning dårligere tilstand har forekommet, samt hvor stor biologisk betydning de observerte endringer forventes å ha (**figur 2.4**). Plassering langs den vertikale akse (VF) er bestemt av hvor sikre vi er på koblingen mellom driver(e) og indikator, og hvor god forståelse vi har av indikatorens rolle i økosystemet (**figur 2.4**). Langs den diagonale akse har man altså økende grad av evidens for biologisk betydelige endringer i retning dårlig tilstand, basert på fenomener av økende gyldighet. Dersom de fleste fenomenene forekommer i de røde cellene, vil konklusjonen være at det er dårlig økologisk tilstand for denne økosystemegenskapen. Dersom de i hovedsak forekommer i de grønne cellene, vil konklusjonen være at det er god tilstand, mens hovedvekt av fenomener i de oransje cellene betyr at det er en utvikling i retning av dårlig tilstand, men at dette enda ikke har inntruffet tydelig. Det er verd å merke seg at dersom det ikke er registrert avvik fra god økologisk tilstand, kan dette bunne i at det faktisk er god tilstand, men selvfølgelig også i at en mangler sentrale indikatorer, ikke har tilstrekkelige gode data for de indikatorene en har etablert, og/eller ikke har tilstrekkelig god kunnskap om hvordan indikatoren kan påvirkes slik at det er vanskelig å skille effekter av påvirkning fra naturlig variasjon.

Vurdering av fenomenets gyldighet [VF]	God: Sikker kopling både til menneskeskapte drivere og god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet.	Middels: Mindre sikker kopling til menneskeskapte drivere og god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet ELLER sikker kopling til menneskeskapte drivere og mindre god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet.	Begrenset: Mindre sikker kopling til menneskeskapte drivere og mindre god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet
Evaluerer om fenomenet har inntruffet [EF]	Høy: Høy grad av evidens for endringer i indikatorens verdi. Stor forventet biologisk betydning av observerte endringer for dagens økosystemtilstand.	Middels: Høy grad av evidens for endringer i indikatorens verdi. Begrenset forventet biologisk betydning av observerte endringer for dagens økosystemtilstand.	Lav: Lav grad av evidens for endringer i indikatorens verdi. Ingen eller liten forventet biologisk betydning av observerte endringer for dagens økosystemtilstand.
	Ingen: Ingen evidens for endringer i indikatorens verdi.		

Figur 2.4. Definisjoner av kategoriene for VF og EF anvendt i vurderingsmatrisen i **figur 2.3**.

3 Arktisk del av Barentshavet

Anna Siwertsson og Per Arneberg

Bidragstere (alfabetisk): Knut Yngve Børsheim (HI), Padmini Dalpadado (HI), Per Fauchald (NINA), Anne Kirstine Frie (HI), Sebastian Gerland (NP), Norman Green (NIVA), Sigrid Lind (HI), Kirsteen MacKenzie (HI), Gro I. van der Meeren (HI), Olga Pavlova (NP), Arild Sundfjord (NP).

I det følgende redegjøres det for arbeidet med utvikling og pilottest av protokoller for arktisk del av Barentshavet. Prosjektet har hatt som mål å teste ulike metoder for å vurdere helhetlig økologisk tilstand etter prinsipper foreslått i fagsystemet for økologisk tilstand (Nybø & Evju 2017). Hovedfokus har vært på å utvikle og teste metoder for å vurdere økologisk tilstand, og selve tilstandsvurderingene som blir presentert i rapporten er dermed ikke å betrakte som en reell vurdering. Vurderingen som er gjort her er basert på et begrenset utvalg av indikatorer og gjennomført på svært kort tid. For marine økosystemer er arktisk del av Barentshavet valgt som testområde. Dette er gjort fordi området på den ene siden er betydelig påvirket av endringer i klima, en driver som også er viktig i andre havområder (som for eksempel Nordsjøen) og som i fremtiden forventes å bli en dominerende driver for alle norske havområder. Samtidig er det i Barentshavet etablert økosystembasert overvåking, slik at en kan få testet ut potensialet som ligger i denne typen overvåking. Som beskrevet i tidligere rapporter (Arneberg et al. 2018a, Nybø & Evju 2017) skjer det en utvikling i retning av økosystembasert overvåking for alle norske havområder. Den arktiske delen av Barentshavet er derfor representativ for den situasjonen vi venter å ha for norske havområder i fremtiden, både når det gjelder endringer og overvåking.

I det følgende oppsummeres kunnskapsgrunnlag og indikatorsettet som er brukt i pilottesten (3.1). Basert på dette begrunnes valg av protokoll for vurdering av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet (3.2). Deretter presenteres en oppsummering av den samlede vurderingen av økologisk tilstand i hver egenskap og for økosystemet som helhet (3.3). Til sist redegjøres for anbefalinger om videre overvåking og forskning basert på erfaringer i pilottesten (3.4).

3.1 Kunnskapsgrunnlag og indikatorer

3.1.1 Datagrunnlaget for arktisk del av Barentshavet

Datagrunnlaget i pilotprosjektet er basert på fjernmålingsdata og data fra økosystembasert overvåking som gjennomføres årlig i samarbeid mellom Havforskningsinstituttet og det russiske havforskningsinstituttet PINRO. En mer detaljert beskrivelse av datasett som er brukt finnes i den anvendte protokollen (**tabell 2.1** i vedlegg 2 til denne rapporten). Fra økosystemtoktene i Barentshavet finnes det data fra strukturert innsamling av mange variabler under relativt lang tid, for abiotiske variabler tilbake til 1979. Den økosystembaserte overvåkingen som inkluderer flere deler av økosystemet startet opp rundt 2004.

For hvert datasett vurderes romlig og tidsmessig representativitet, som så slås sammen til en vurdering av datadekning for hver indikator (**tabell 3.1**). For innsamling av data under økosystemtoktene i Barentshavet brukes fastsatte sett av rundt 400 stasjoner i et systematisk grid, nærmere beskrevet i van der Meeren & Prozorkevich (2019). Utgangspunktet er at alle stasjoner prøvetas hvert år, men dette er avhengig av vær og isforhold og at det ikke oppstår tekniske problemer. Datasettene som har sitt utspring i økosystemtoktene i Barentshavet vurderes stort sett til å ha oppfylt kriteriene for arealrepresentativitet basert på et designbasert utvalg. En detaljert vurdering av romlig representativitet av de brukte datasettene finnes i **tabell 6.1** i vedlegg 2.

Økosystemtoktet i Barentshavet gjennomføres til samme tid hvert år. For datasett brukt i denne pilottesten er dette september/oktober. Bruk av samme tidspunkt hvert år vil til dels dekke opp for manglende målinger gjennom sesongen når en studerer endringer over lengre tidsperioder. Tidsserier for abiotiske indikatorer er lengre enn for de fleste biotiske indikatorer, og i den forrige rapporten (Arneberg et al. 2018a) ble det konkludert at vi mangler data for biotiske indikatorer for de fleste egenskaper fra den klimatiske referanseperioden (1961-1990) (mer detaljer i kap. 3.2). Den tidsmessige representativiteten blir for flere indikatorer vurdert som relativt dårlig, primært på grunn av korte tidsserier. En detaljert vurdering av tidsmessig representativitet av de brukte datasettene finnes i **tabell 6.1** i vedlegg 2.

For norske havområder er det allerede etablert en rekke indikatorer gjennom arbeidet med de helhetlige forvaltningsplanene for norske havområder (Arneberg & Jelmert 2017, Arneberg & van der Meeren 2016, Arneberg et al. 2018b). I tillegg til disse allerede etablerte indikatorene er det i prosjektet utviklet nye indikatorer for å bedre dekke noen av egenskapene som skal vurderes. Hovedfokus ved utvalg av indikatorer har vært på om den beskriver relevant og viktig økologisk struktur og/eller funksjon i økosystemet i arktisk del av Barentshavet, og om den forventes å respondere på endringer i menneskelige påvirkninger på systemet. I andre sammenhenger er det brukt som kriterium for valg av indikatorer at de skal være enkle og lette å tolke og være kostnadseffektive å måle på en konsistent måte (OECD 2003). Her har vi ikke lagt vekt på disse kriteriene fordi erfaringen i arbeidet med fagsystemet og litteraturen ellers (for eksempel (McQuatters-Gollop et al. 2019)) er at indikatorer for miljøtilstand sjelden er lette å tolke, men krever et omfattende og komplisert arbeid for å forstås, der en tar i betraktning sammenhengen de forekommer i. Videre kan man ikke forvente at kompliserte strukturer og prosesser i et stort og relativt vanskelig tilgjengelig marint økosystem skal kunne overvåkes uten betydelige kostnader. Når det gjelder norske havområder er en i den heldige situasjonen at det foregår en utvikling i retning av økosystembasert fiskeriforvaltning (Gullestad et al. 2017, Gullestad et al. 2014, Huse et al. 2018), der Havressursloven og de helhetlige økosystembaserte forvaltningsplanene er en sentral del av bakteppet. Dette har bidratt til den ovenfor beskrevne utviklingen av økosystembasert overvåking av norske havområder som gjør at det er på plass en overvåking som tjener både ressursforvaltningens og miljøforvaltningens behov.

3.1.2 Indikatorer anvendt for arktisk del av Barentshavet i pilottesten

I pilottesten for arktisk del av Barentshavet har vi inkludert 17 indikatorer fordelt på alle de syv økosystemegenskapene. En oversikt over disse med en vurdering av representativiteten i datagrunnlaget og av hvor godt de anvendte indikatorene dekker egenskapen gis i **tabell 3.1**.

Tabell 3.1. Oversikt over anvendte indikatorer, vurdering av datadekning og vurdering av indikatordekning for hver egenskap for arktisk del av Barentshavet. Vurderingen av datadekning inkluderer både en vurdering av romlig og tidsmessig representativitet. Mer detaljer omkring disse vurderingene finnes i **tabell 6.1** i vedlegg 2.

Egenskap	Indikator	Indikatorens datadekning (DDi)	Egenskapens samlede indikatordekning (IDe)
Primærproduksjon	Årlig primærproduksjon Tidspunkt for våroppblomstring	Svært god Svært god	Delvis dekkende
Biomasse trofiske nivå	Gjennomsnittlig trofisk nivå	God	Begrenset
Funksjonelle grupper	Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper Bento-pelagiske arter Bentiske filter predatorer	God God God	Begrenset
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Arktiske <i>Calanus</i> -arter Polartorsk Lodde Nordøstarktisk torsk	God Svært god Svært god Svært god	Delvis dekkende
Landskapsøkologiske mønstre	Størrelse på temperaturnisjer Utbredelse av havis	Svært god Svært god	Delvis dekkende
Biologisk mangfold	Artsutskiftingsrater bunnfisk Artsutskiftingsrater sjøfugl	Svært god God	Begrenset
Abiotiske faktorer	Varmeinnhold hav Ferskvannsinhold hav Utbredelse av havis	Svært god Svært god Svært god	Dekkende

3.2 Vurderinger knyttet til valg av protokoll for vurdering av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet

I oppdraget var arbeidsgruppe for hav bedt om å teste begge protokolltilnærmingene. Som beskrevet i kap 1.3 anbefaler arbeidsgruppene for hav og arktisk tundra at fagpanelprotokollen legges til grunn for det videre arbeidet med fagsystemet. Her er det redegjort for de aspektene ved datagrunnlaget og det øvrige kunnskapsgrunnlaget som gjør at indeksprotokollen ikke kunne testes for arktisk del av Barentshavet. Det er følgelig redegjort for hvorfor grunnlaget ikke tillater å tallsette referanseverdier og grenseverdier for god økologisk tilstand for alle indikatorer utenom abiotiske og hvorfor problemer med skalering av de abiotiske indikatorene gjør at indeksprotokollen heller ikke kunne anvendes for disse. Etter dette er det redegjort for hvorfor grunnlaget tillater at fagpanelprotokollen kan anvendes.

For arktisk del av Barentshavet er det tidligere blitt konkludert at det for de fleste indikatorer ikke finnes data som kan brukes til å estimere referanseverdier for intakt natur (Arneberg et al. 2018a). Denne konklusjonen baseres på at økosystemet i arktisk del av Barentshavet er blitt sterkt og gjennomgripende påvirket av menneskelig aktivitet i moderne (etter-industriell) tid. Barentshavet er og har vært et viktig område for industrielle fiskerier, og tidligere var det også et viktig område for fangst av sjøpattedyr. Selv om det fortsatt bedrives storskala fiske i området, er tilstanden for flere fiskebestander nå forbedret sammenlignet med siste halvdel av 1900-tallet (Gullestad et al. 2017), mye takket være god og bærekraftig internasjonal forvaltningspraksis (Bundy et al. 2017). Økosystemet i Barentshavet er også sterkt påvirket av pågående klimaendringer (Dalpadado et al. 2014, Dalpadado et al. 2012, Fossheim et al. 2015, Frainer et al. 2017, Kortsch et al. 2012, Kortsch et al. 2015, Renaut et al. 2018). Fordi endringer i klima nå er en dominerende driver, kan referanseverdier kun estimeres dersom man har data fra en periode med et klima relativt likt normalperioden 1961-1990 og der det heller ikke er andre betydelige menneskeskapte drivere. I forrige rapport (Arneberg et al. 2018a) ble det derfor gjort en

gjennomgang og oppsummering av i hvor stor grad datagrunnlaget var overlappende med den klimatiske referanseperioden (1961-1990), og om klimaet i perioden når dataene er innsamlet har vært vesentlig forskjellig fra klimaet i referanseperioden. Konklusjonen var at vi mangler data fra referanseperioden for klima for indikatorer for de fleste egenskaper, og at data for biologiske indikatorer er innsamlet i en periode med et klima forskjellig fra referanseperioden. Noen indikatorer på enkelte fiskearter strekker seg inn i referanseperioden for klima, men disse var da i betydelig grad påvirket av et høyt industrielt fiskepress. Basert på ovenstående har vi ikke mulighet for å sette et tall på når indikatoren er i «god tilstand» (referanseverdi) basert på data for de fleste av indikatorene i arktisk del av Barentshavet. For abiotiske indikatorer, som brukes i egenskapene «abiotiske forhold» og «landskapsøkologiske mønstre», har vi data som strekker seg inn i referanseperioden for klima. Siden disse ikke er gjennomgripende påvirket av andre menneskelige aktiviteter vil det for disse være mulig å beregne referanseverdier som for eksempel gjennomsnittet for den klimatiske referanseperioden.

For å estimere grenseverdier for god økologisk tilstand, ville en blant annet måtte ha kunnskap om hvordan de sentrale driverne påvirker systemet som er så omfattende at en kan estimere hvilke verdier indikatorer har når de er påvirket. Selv om en har betydelig informasjon om menneskeskapt påvirkning på de biologiske delene av økosystemet i den arktiske delen av Barentshavet (Arneberg & Jelmert 2017), er den ikke av en slik karakter at det er mulig å estimere grenseverdier med rimelig grad av sikkerhet. For de abiotiske indikatorene vil en mulighet være å bruke et mål på variasjon i referanseperioden for klima som grenseverdi for når indikatoren avviker vesentlig fra referansetilstanden.

For arktisk del av Barentshavet er det også en rekke indikatorer som ikke har et naturlig nullpunkt og som derfor ikke uten videre lar seg skalere. Dette gjelder abiotiske variabler, der det ikke finnes meningsfulle verdier for «helt ødelagt» tilstand. Det er for eksempel ikke mulig å fastsette hvor høy eller lav vanntemperatur som tilsvarer en «helt ødelagt» tilstand. Videre er det for en del av de komplekse indikatorene, som artsutskiftingsrater, fordeling av biomasse mellom trofiske nivå og diversitet av funksjonelle grupper, ikke opplagt hva som representerer «helt ødelagt» tilstand og dermed et nullpunkt det kan skaleres mot. Siden indeksprotokollen kun kan anvendes på indikatorer som er skalerbare, er dette et moment som ytterligere utelukker denne protokollen for arktisk del av Barentshavet. Det var i utgangspunktet ment å anvende indeksprotokollen for abiotiske indikatorer, siden referanse- og grenseverdier kan estimeres for disse. Men siden det foreløpig ikke er etablert et prinsipp for hvordan de kan skaleres, så kan heller ikke dette gjennomføres som en del av denne piloten.

Fagpanelprotokollen beskriver en vurderingsmetode som kan brukes for indikatorer både med og uten referanse- og grenseverdier (for detaljer om metoden se kap. 2.3, og vedlegg 1). Fagpanelprotokollen er basert på at en kan formulere/konkretisere forventninger til hvordan indikatorverdiene endres når tilstanden blir dårligere, det vil si mer påvirket av menneskelig aktivitet (såkalte «fenomener»). For indikatorer der grenseverdier ikke kan settes formuleres kvalitative fenomener, der dårlig tilstand tilsvarer en så stor endring eller høy/lav verdi at det har betydelig biologisk effekt på andre deler av økosystemet.

For mange av indikatorene i arktisk del av Barentshavet har vi en relativt god forståelse av de viktigste driverne og hvordan indikatoren forventes endret med økt menneskelig påvirkning. Vi har i mange tilfeller også relativt god forståelse av indikatorens rolle i økosystemet og hvordan endringer i indikatoren vil påvirke andre deler av økosystemet. Dette betyr at vi kan formulere relativt gyldige fenomener som beskriver hvordan menneskelige påvirkninger forventes å påvirke indikatoren, og hvordan endringer i indikatoren vil kunne påvirke andre deler av økosystemet. Disse fenomenene vil være kvalitative siden vi ikke kan fastsette grenseverdier, men istedenfor vurderer om observerte endringer er biologisk betydelige.

Basert på ovenstående er det konkludert med at det kun er fagpanelprotokollen som er relevant og dermed brukt i pilottesten for vurdering av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet.

3.3 Vurdering av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet basert på fagpanelprotokollen

En oppsummering av tilnærmingsmåten i fagpanelprotokollen finnes i kapittel 2.4 og en mer detaljert metodebeskrivelse i den tekniske protokollen (Vedlegg 1 til denne rapporten). Her beskrives først hvilke fenomener som er brukt for vurdering av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet, så følger samlede vurderinger først av hver egenskap og etterpå av økosystemet som helhet.

3.3.1 Beskrivelse av anvendte fenomener

Fenomener er sentralt i fagpanelprotokollen, og beskriver forventninger til hvordan indikatorer endres når tilstanden påvirkes av menneskelige drivere. I den anvendte fagpanelprotokollen finnes en utførlig begrunnelse for hvert fenomen der det basert på litteratur gis en beskrivelse av de viktigste driverne og indikatorens rolle i økosystemet (kap. 4.1 i vedlegg 2). Det gjøres også her en vurdering av hvor god forståelse vi har av koblingen til de menneskelige driverne (sikker, mindre sikker) og av forståelsen av betydningen av endringer i indikatorens verdi for andre deler av økosystemet (god, mindre god). Disse begrunnelsene for fenomener er sentrale for vurdering av «fenomenets gyldighet» (VF). I begrunnelsen til fenomenene er det tydelig hvilken kunnskap og litteratur som er brukt i vurderingene. Dette gjør at fagpanelets vurdering vil være transparent og etterprøvbart, og at begrunnelser og vurderinger relativt enkelt vil kunne oppdateres ved neste tilfelle en vurdering skal gjøres for samme økosystem. I **tabell 3.2** gis en oppsummering av begrunnelsene for fenomenene for arktisk del av Barentshavet, for mer detaljer henvises det til kapittel 4.1 i vedlegg 2.

I vurderingen av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet er det brukt kvalitative fenomener, som i de fleste tilfeller beskriver i hvilken retning indikatorverdien forventes å endres ved menneskelig påvirkning. Fagpanelets vurdering av graden av evidens for om hvert fenomen har inntruffet (EF) ble basert på to typer vurderinger. Det første er en statistisk evaluering av endringer i indikatorverdi over tid. Detaljerte resultater for dette for hvert fenomen finnes i appendiks 1 til vedlegg 2 til denne rapporten. Intensjonen var at dette skulle fundamenteres i et felles rammeverk for statistiske metoder tilpasset forskjellige type data, men i pilotprosjektet ble det ikke tid til å gjennomføre dette. For indikatorer der endringer ble observert, ble det i tillegg gjort en vurdering av om endringen var stor nok til å ha biologisk betydelige effekter på andre deler av økosystemet. Denne vurderingen ble stort sett basert på fagpanelets kunnskap/litteratur om hvordan observerte endringer forventes å påvirke resten av økosystemet (litteratur som dette baseres på finnes i begrunnelsen for fenomenet). Det vil i tillegg være mulig å vurdere effekter på andre deler av det aktuelle økosystemet ved å bruke data på dette der det finnes.

Tabell 3.2. Oppsummering av begrunnelser for fenomener brukt i vurdering av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet.

Indikator	Fenomen	Viktigste drivere	Kobling til drivere	Forståelse av rolle i økosystemet
Primærproduksjon				
Årlig primærproduksjon	Økning i årlig primærproduksjon	Klimaendringer	Sikker	Mindre god
Tidspunkt for våroppblomstring	Tidligere tidspunkt for avslutning av våroppblomstring	Klimaendringer	Sikker	Mindre god
Biomasse mellom trofiske nivåer				
Gjennomsnittlig trofisk nivå	Nedgang i gjennomsnittlig trofisk nivå	Klimaendringer Beskatning	Mindre sikker	Mindre god
Funksjonelle grupper				
Fordeling av biomasse mellom	Økende biomasse av pelagiske arter i forhold til bentiske arter.	Klimaendringer Bunnpåvirkning	Mindre sikker	Mindre god

pelagiske og bentiske grupper		Fremmede arter		
Bento-pelagiske arter	Økende biomasse av bento-pelagiske arter.	Klimaendringer Beskatning	Mindre sikker	Mindre god
Bentiske filter predatore	Minkende biomasse av bentiske filterpredatorer.	Klimaendringer Bunnpåvirkning	Mindre sikker	Mindre god
Funksjonelt viktige arter og strukturer				
Arktiske <i>Calanus</i> -arter	Minkende andel arktiske <i>Calanus</i> -arter.	Klimaendringer	Sikker	God
Polartorsk	Vedvarende nedgang i bestandsstørrelse av polartorsk.	Klimaendringer Beskatning	Mindre sikker	God
Lodde	Økt grad av ustabilitet i bestandsstørrelse av lodde.	Klimaendringer Beskatning	Sikker	God
Nordøstarktisk Torsk	Vedvarende endring i bestandsstørrelse av NØA torsk.	Klimaendringer Beskatning	Mindre sikker	God
Landskapsøkologiske mønstre				
Størrelse på temperaturnisjer	Minkende areal dekket av arktiske vannmasser ($T < 0^{\circ}\text{C}$).	Klimaendringer	Sikker	God
Utbredelse av havis	Minkende gjennomsnittlig areal dekket av havis.	Klimaendringer	Sikker	God
Biologisk mangfold				
Artsutskiftingsrater bunnfisk	Forhøyede artsutskiftingsrater.	Klimaendringer Beskatning Bunnpåvirkning Fremmede arter	Sikker	God
Artsutskiftingsrater sjøfugl	Forhøyede artsutskiftingsrater.	Klimaendringer	Sikker	God
Abiotiske forhold				
Varmeinnhold hav	Økende varmeinnhold.	Klimaendringer	Sikker	God
Ferskvannsinhold hav	Minkende ferskvannsinhold.	Klimaendringer	Sikker	God
Utbredelse av havis	Minkende gjennomsnittlig areal dekket av havis.	Klimaendringer	Sikker	God

3.3.2 Samlet vurdering av økologisk tilstand for hver egenskap

Fagpanelets vurdering av økologisk tilstand for hver egenskap er basert på vurderinger av «fenomenenes gyldighet» (VF), graden av evidens for at et fenomen har inntruffet (EF) og vurderinger av romlig og tidsmessig representativitet i datagrunnlaget (datadekning). Som et hjelpemiddel i vurderingene brukes en visuell fremstilling («oversiktsfigur») der disse variablene illustreres for hvert enkelt fenomen som inngår i egenskapen (**figur 3.1**). For hver egenskap vurderes avvik fra god økologisk tilstand i tre kategorier: ingen avvik fra god økologisk tilstand, begrensede avvik fra god økologisk tilstand, eller betydelige avvik fra god økologisk tilstand. Mer detaljer om vurdering av økologisk tilstand for hver enkelt egenskap finnes i kap. 2.4 og i den tekniske fagpanelprotokollen (vedlegg 1). Her presenteres vurderingene av hver av de syv egenskapene for arktisk del av Barentshavet (gjengitt fra kap. 6.3.1 i vedlegg 2).

Primærproduksjon

Egenskapen primærproduksjon vurderes til å vise **betydelige avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på to indikatorer med svært god datadekning, som vurderes å delvis dekke denne egenskapen. Vurderingen ville bli mer sikker med en kalibrering av satellittdata med *in situ* målinger av primærproduksjon i dette eller lignende arktiske havområder. De vurderte fenomenene har middels god gyldighet med relativt sikre koblinger til menneskelige drivere (klima), men til tross for relativt god generell forståelse i marine økosystemer er det mindre god forståelse av deres rolle i økosystemet i arktisk del av Barentshavet. Et fenomen (indikator *Årlig primærproduksjon*) viser tydelige endringer i hele området (EF = høy), mens det andre fenomenet (indikator *Tidspunkt for våroppblomstring*) ikke viser noen signifikante endringer (EF = ingen) (med unntak for polygon 48). Ved den samlede vurderingen av egenskapen vektlegges *Årlig primærproduksjon* høyere enn *Tidspunkt for våroppblomstring*,

siden dette er det mest grunnleggende for økosystemet av de to. *Tidspunkt for våroppblomstring* viser også mye variasjon mellom år siden det primært er styrt av lys og værforhold.

Biomasse mellom trofiske nivå

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **ingen avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på en indikator med god datadekning, og egenskapens indikatordekning vurderes som begrenset. Fenomenet har begrenset gyldighet, da det er mindre sikker kobling til menneskelige drivere og mindre god forståelse av betydningen som endringer i gjennomsnittlig trofisk nivå har for økosystemets tilstand. I indikatoren (*Gjennomsnittlig trofisk nivå*) inngår biomasse estimerer for hoveddelen av organismer som blir fanget i pelagisk og bunn-trål og resultatene viser at det er stor variasjon i indikatorverdiene mellom år. Det er imidlertid en statistisk signifikant nedgang i gjennomsnittlig trofisk nivå i nord-vest (polygon 48 og 49), mens det er en økning i øst (polygon 45). Nedgangen i trofisk nivå er betydelig, særlig i polygon 49, der gjennomsnittlig trofisk nivå har minket med et helt nivå i løpet av de siste 10 år. Det vurderes at det er lav evidens for endringer og begrenset forventet biologisk betydning av disse endringer (EF = lav).

Funksjonelle grupper

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **ingen avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på tre indikatorer med god datadekning. Egenskapens indikatordekning vurderes som begrenset da alle indikatorer er basert på den samme tilnærmingsmåten med å gruppere organismer etter karakteristisk foringshabitat og diett. Fenomenene har begrenset gyldighet, da det er mindre sikker kobling til menneskelige drivere og mindre god forståelse av betydningen som endringer har for økosystemets tilstand. To fenomener (indikator *Bentopelagiske arter* og *Bentiske filterpredatorer*) fokuserer på effekter av klima, såkalt borealisering, og for begge er det ingen evidens for endringer (EF = ingen). For det siste fenomenet (indikator *Fordeling av biomasse mellom pelagiske og bentiske grupper*) vurderes det også at det ikke er evidens for endringer (EF = ingen).

Funksjonelt viktige arter og strukturer

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på fire indikatorer med svært god til god datadekning. Egenskapens indikatordekning vurderes som delvis dekkende, da indikatorene dekker de viktigste arter av fisk og hoppekreps, men mangler andre viktige nøkkelarter i økosystemet. Fenomenene har god til middels god gyldighet. Forståelse av hvordan endringer påvirker økosystemet vurderes i alle tilfeller som god, mens det for to fenomener (indikator *Polartorsk* og *Nordøstarktisk torsk*) vurderes at kobling til menneskeskapte drivere er mindre sikker. For tre fenomener er det høy grad av evidens for endringer, med stor forventet biologisk betydning (EF = høy), mens for det fjerde fenomenet (indikator *Lodde*) er høy grad av evidens for endringer i bestanden, men det vurderes at den biologiske betydningen av den seneste nedgangen i loddebestanden er begrenset (EF = middels).

Landskapsøkologiske mønstre

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på to indikatorer med svært god datadekning. Egenskapens indikatordekning vurderes som delvis dekkende, da de nå primært dekker kun klimarelaterte endringer og mangler indikatorer på areal påvirket av bunntråling. Fenomenene har god gyldighet med relativt sikker kobling til menneskeskapte drivere (klima) og god forståelse av deres rolle i økosystemet. Begge fenomener viser høy grad av evidens for endringer, med stor forventet biologisk betydning for tilstanden i økosystemet (EF = høy).

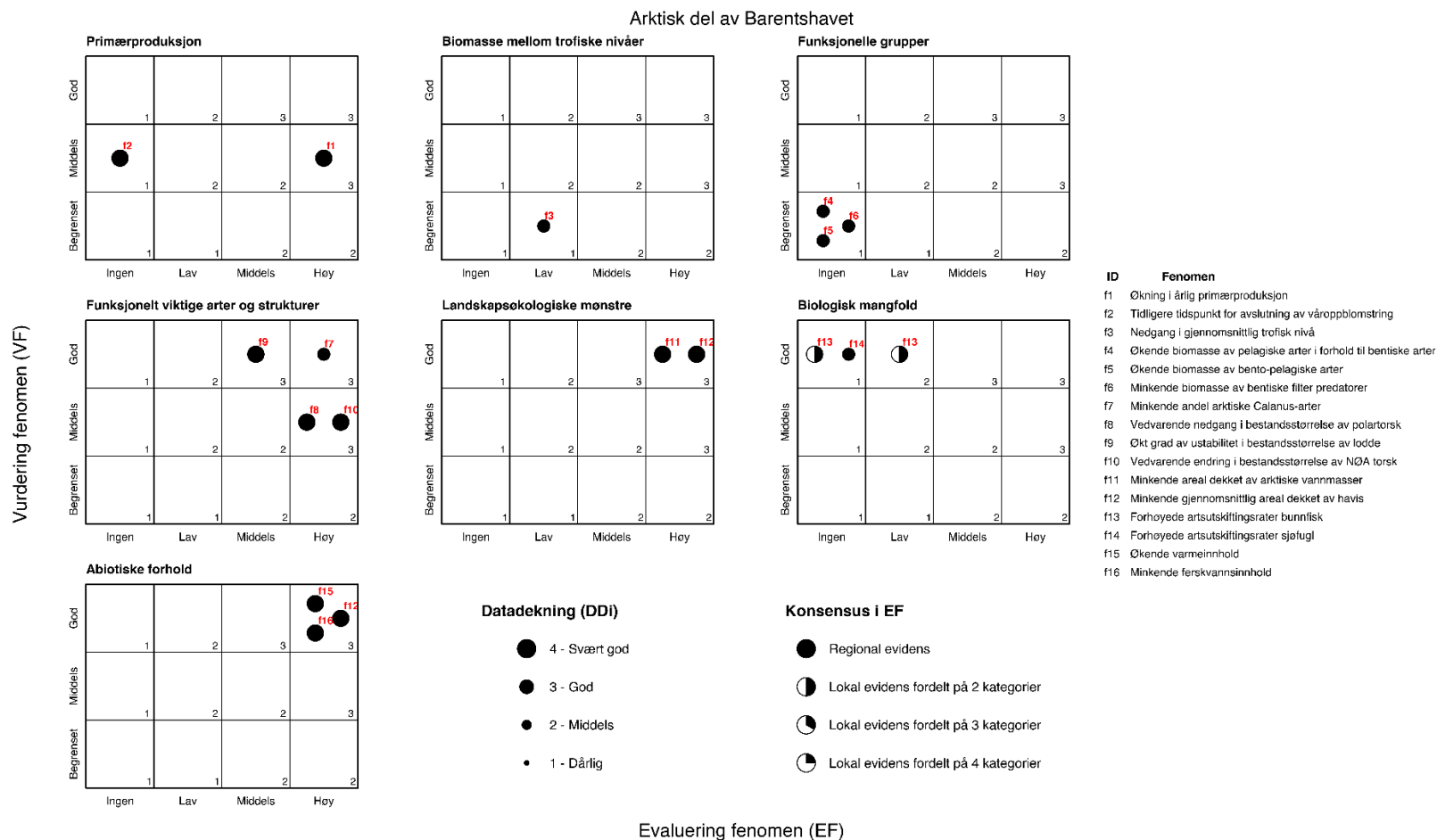
Biologisk mangfold

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **ingen avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på to fenomener med svært god til god datadekning. Egenskapens indikatordekning vurderes som begrenset, fordi det

kun inngår indikatorer på bunnfisk og sjøfugl og mangler indikatorer for andre viktige organisme-grupper som pelagisk fisk, bunndyr og plankton. Fenomenene har god gyldighet, da det på generelt grunnlag er sikker kobling til menneskelige drivere og god forståelse av rollen i økosystemet. For et fenomen (*Artsutskiftingsrater sjøfugl*) er det ingen evidens for endringer (EF ingen), dette skyldes sannsynligvis en relativt kort tidsserie og lavt antall arter av sjøfugl. For det andre fenomenet (*Artsutskiftingsrater bunnfisk*) er det lav grad av evidens for endringer i den østlige delen av området (EF = lav), mens det i de mest vestlige delene ikke er evidens for endringer (EF = ingen). Det er derfor tegn til at det skjer utskiftingsarter i de østlige bunnfisksamfunnet, og grunn til å være oppmerksom på utviklingen fremover.

Abiotiske forhold

Basert på pilotprosjektets indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand** i arktisk del av Barentshavet. Vurderingen er basert på tre indikatorer med svært god datadekning. Egenskapens indikatordekning vurderes som dekkende, da indikatorene dekker de mest sentrale delene av de abiotiske forholdene i dette økosystemet. Fenomenene har god gyldighet med relativt sikker kobling til menneskeskapte drivere (klima) og god forståelse av deres rolle i økosystemet. Alle tre fenomener viser høy grad av evidens for endringer, med stor forventet biologisk betydning for tilstanden i økosystemet (EF = høy).



Figur 3.1. Samlet vurdering av alle fenomener innen hver egenskap for arktisk del av Barentshavet. Hvert symbol representerer resultatet fra vurderingen av et fenomen. Symbolenes plassering i matrisen er bestemt av grad av evidens for at fenomenet er inntruffet (EF) og vurdering av fenomenets gyldighet (VF). Størrelsen på symbolene reflekterer datadekning for den indikator som fenomenet er tilhørende (DDi). Dersom hele datagrunnlaget viser samme grad av evidens for endringer brukes hele symboler (regional evidens for endring). Dersom deler av datagrunnlaget viser motstridende grad av endring (eks mellom geografiske regioner), deles symbolet på ulike verdier av EF (lokal evidens for endring). Dette vises med delte symboler.

3.3.3 Samlet vurdering av økologisk tilstand for økosystemet som helhet

På grunnlag av den samlede vurderingen, konkluderer fagpanelet med at det ikke er god økologisk tilstand i den arktiske delen av Barentshavet. Den viktigste endringen er at klimaet, som er en del av økosystemet, har blitt betydelig varmere, og dette er i hvert fall delvis forårsaket av utslipp av drivhusgasser og annen menneskeskapt klimapåvirkning. Resten av økosystemet viser endringer som kan relateres til klimaoppvarmingen, spesielt for egenskapene med god indikatordekning, det vil si «Primærproduksjon», «Funksjonelt viktige arter og strukturer» og «Landskapsøkologiske mønstre». For øvrige økosystemegenskaper er det ikke registrert avvik fra god økologisk tilstand, men her er indikatordekningen dårligere, slik at det er betydelig usikkerhet knyttet til vurderingen. I fremtiden forventes det at oppvarmingen vil fortsette og ytterligere forverre den økologiske tilstanden. På grunn av at det også er betydelig naturlig variasjon i klima, forventes hastigheten på oppvarmingen til å variere de kommende tiårene.

Nedenfor er det først gitt en overordnet beskrivelse av økosystemet i god tilstand så langt det er mulig, samt en beskrivelse av hva som er de viktigste menneskeskapte driverne og hvordan de har endret seg. Deretter gis det en oppsummering av vurderingene for hver enkelt økosystemegenskap og en grafisk fremstilling av dette (**tabell 3.3**). Dette forteller hvilke effekter disse driverne har hatt og gir bakgrunnen for den samlede vurderingen ovenfor. Avslutningsvis er det gitt en vurdering av mulig fremtidig utvikling i økologisk tilstand og en vurdering av de viktigste behovene for forskning og overvåking.

Den arktiske delen av Barentshavet har vært betydelig påvirket av menneskeskapte aktiviteter siden hvalfangsten begynte tidlig på 1600-tallet. Området var i lang tid også lite tilgjengelig for vitenskapelige undersøkelser, blant annet på grunn av stor utbredelse av havis. En har derfor begrenset kunnskap om hva som karakteriserte økosystemet i fravær av betydelig menneskeskapt påvirkning, dvs i god økologisk tilstand. På et overordnet plan er det klart at god økologisk tilstand er karakterisert av at dynamikken er påvirket av naturlig variasjon i klima og biologiske prosesser, spesielt det som gir grunnlag for rekruttering i bestander som forventes å ha sentrale funksjoner i et bærekraftig høstet arktisk havøkosystem. I god økologisk tilstand er klimaet preget av lavere vanntemperaturer, større utbredelse av havis og sterkere stratifisering av øvre vannlag som følge av mer ferskvann, sammenlignet med i dag. Det betyr at store områder har et sesongmessig isdekke og at en del områder også har flerårig isdekke. Fauna og flora som er tilpasset havis er derfor viktige for dynamikken i økosystemet. Det inkluderer isalger, og omfattende primærproduksjon i disse kan bety at en større andel av primærproduksjonen faller til bunnen enn når det er mindre havis.

Fangst på sjøpattedyr må anses som den viktigste menneskeskapte driveren fra begynnelsen av 1600-tallet. I løpet av et par hundre år ble grønlandshval nærmest utryddet. Arten var i utgangspunktet tallrik og må antas å ha hatt betydning for dynamikken i økosystemet. Frem til langt ut på 1900-tallet ble også hvalross, isbjørn, sel og andre hvalarter jaktet og fangstet ned til lave nivåer. Etter langvarig fredning ser man vekst i enkelte av disse bestandene, for eksempel hvalross. Det er rimelig å anta at en vil se tilsvarende vekst for andre sjøpattedyrarter i fremtiden (Fauchald et al. 2014). Etter andre verdenskrig ble det i perioder drevet et omfattende overfiske på flere av de sentrale fiskebestandene i Barentshavet, som torsk, hyse, blåkveite og uer. Dette førte til betydelige bestandsnedganger. Bedringer i fiskeriforvaltningen har nå ført til stans i det aller meste av overfisket, og de fleste bestandene har tatt seg opp igjen eller er i ferd med å gjøre det (McBride et al. 2016). De siste tiårene har klimaet endret seg betydelig, og en stor del av denne klimaoppvarmingen er menneskeskapt. Dette har hatt omfattende effekter på økosystemet (Descamps et al. 2017, Eriksen 2017, Eriksen et al. 2017, Fossheim et al. 2015, Frainer et al. 2017, Kortsch et al. 2015, Lind et al. 2018). Den menneskeskapte påvirkningen av klima fremstår nå som den viktigste endringsdriveren av økosystemet i den arktiske delen av Barentshavet (Arneberg & Jelmert 2017).

Vurderingen av økosystemegenskapen «Abiotiske forhold», hvor klimaindikatorene inngår, er derfor sentral i den samlede vurderingen. Fagpanelet har konkludert med at det er *betydelige avvik* fra god økologisk tilstand for denne egenskapen. Det er et entydig resultat, basert på gode data, og alle indikatorene peker i samme retning. Temperaturen har økt, mengden havis har avtatt og mengden ferskvann har minket, det siste med det resultatet at lagdeling av vannsøylen er svekket. Endringene må karakteriseres som store. De tre responsene er forbundet med hverandre og indikerer også at systemet har gått over i en grunnleggende ny klimatilstand som vanskelig lar seg reversere (Lind et al. 2018). Fordi marine økosystemer er sensitive for endringer i klima (Hays et al. 2005), og klimaendringene i den arktiske delen av Barentshavet er store, må det forventes at effektene på resten av økosystemet blir omfattende. I tillegg til de allerede registrerte endringene i økosystemet, er det sannsynlig at det er en viss tidsforsinkelse i økosystemets responser på endringene i klima, og at en også derfor kan vente flere og mer omfattende endringer fremover.

For egenskapene «Primærproduksjon» og «Funksjonelt viktige arter og strukturer» har fagpanelet konkludert med at det allerede er *betydelige avvik* fra god økologisk tilstand som knyttes til endringene i klima. For «Primærproduksjon» er det funnet at den totale primærproduksjonen har økt betydelig, sannsynligvis som følge av klimaendringene. Dette kan fundamentalt endre rammebetingelsene for økosystemets helhetlige dynamikk, og må anses som en endring med stor biologisk betydning. Tidspunktet for våroppblomstringen (dvs når primærproduksjon øker betydelig om våren) har ikke endret seg. At den totale produksjonen er endret som følge av menneskeskapt påvirkning, tilsier likevel at det samlet er *betydelige avvik* for denne økosystemegenskapen.

For egenskapen «Funksjonelt viktige arter og strukturer» er de *betydelige avvikene* fra god økologisk tilstand knyttet til endringer i indikatorene for polartorsk, *Calanus*-arter, torsk og lodde. Alle indikatorene peker i samme retning, og endringene forventes å ha betydelige konsekvenser for andre deler av økosystemet. For de tre første indikatorene er endringene knyttet til klimaendringene. Det har blitt relativt sett lavere biomasse av arktiske *Calanus*-arter, lavere biomasse av polartorsk og høyere biomasse av torsk i den arktiske delen av Barentshavet på grunn av forandringene i klima. For lodde er det konkludert med at variasjon i biomasse over tid er påvirket av fiske.

Egenskapen «Landskapsøkologiske mønstre» er den siste av de fire egenskapene hvor fagpanelet har konkludert med at det er *betydelige avvik* fra god økologisk tilstand. For denne egenskapen er indikatorene enten avledet av en abiotisk indikator («Størrelse på temperaturnisjer») eller den samme som en abiotisk indikator («Utbredelse av havis»). Indikatorene gir derfor ikke ny informasjon ut over det som alt er vurdert under egenskapen «Abiotiske forhold». Vurderingen viser likevel at endringene i klima har ført til nedgang i størrelsen av arktiske habitattyper.

Fagpanelet har konkludert med at det *ikke er avvik* fra god økologisk tilstand for økosystemegenskapene «Fordeling av biomasse mellom trofiske nivå», «Funksjonelle grupper» og «Biologisk mangfold». Disse tre egenskapene er dårligere dekket med indikatorer enn de fire egenskapene hvor det er konkludert med *betydelige avvik*, og det er derfor stor usikkerhet knyttet til om tilstanden virkelig er god for disse egenskapene. I tillegg er indikatorene for disse tre egenskapene alle komplekse økosystemindikatorer, i motsetning til i de fire andre egenskapene, hvor indikatorene er basert på relativt sett enklere indekser. Fordi utvikling av komplekse indikatorer er et relativt nytt forskningsfelt (Barbier & Loreau 2019, Halpern et al. 2012, Overland et al. 2019, Shephard et al. 2015), har det vært begrensede erfaringer å støtte seg på i utviklingen av slike indikatorer her. Arbeid over tid kan derfor være nødvendig for å avklare om det er mulig å etablere mer sensitive komplekse indikatorer.

Basert på modellstudier er det konkludert med at endringene av klimaet i den arktiske delen av Barentshavet kommer til å fortsette og gi høyere temperaturer og mindre havis. Det er begrenset hva en kan si i detalj om hvordan dette vil endre økosystemet, men det synes sikkert at forandringene en har sett som følge av klimaendringene så langt kommer til å fortsette og forverre den

økologiske tilstanden. I tillegg forventes det at havforsuringen kommer til å fortsette, og at dette etter hvert kan begynne å påvirke økologiske prosesser. Det er betydelig usikkerhet knyttet til hva disse effektene vil være, men det er rimelig å anta at også de kan bidra til at den økologiske tilstanden blir dårligere.

En oppsummering av fagpanelets vurderinger for alle egenskaper er gitt i **tabell 3.2**.

Tabell 3.3. Samlet vurdering av avvik fra god økologisk tilstand for hver av de syv egenskapene basert på indikatorene i pilottesten (**tabell 3.1**). Indikatordekning viser vurderingen av hvor godt hver egenskap er dekket av det brukte indikatorsettet i arktisk del av Barentshavet. (Hentet fra vedlegg 2, **tabell 6.3.1**).

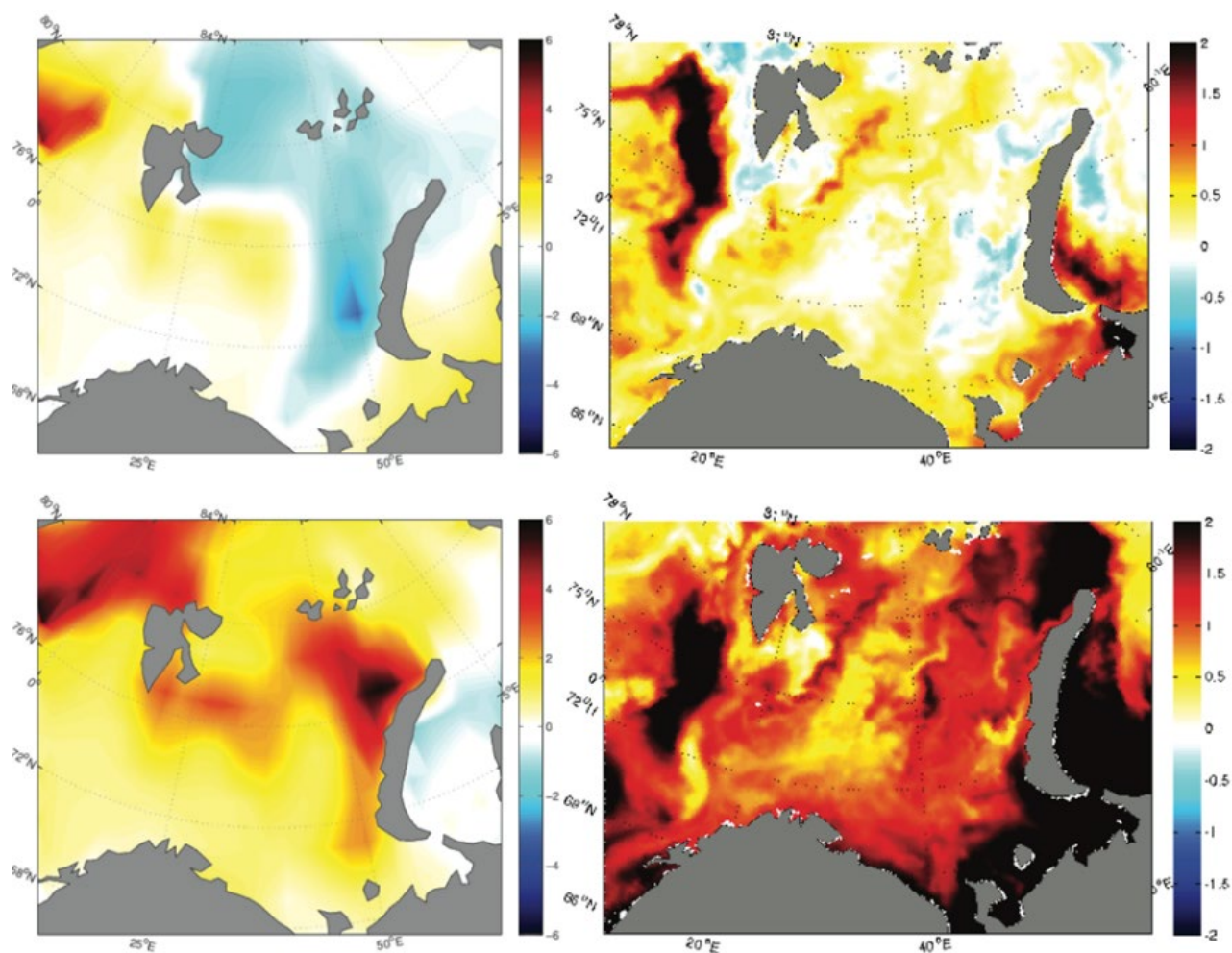
Egenskap	Samlet vurdering	Indikatordekning
Primærproduksjon	Betydelige avvik	Delvis dekkende
Biomasse mellom trofiske nivåer	Ingen avvik	Begrenset
Funksjonelle grupper	Ingen avvik	Begrenset
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Betydelige avvik	Delvis dekkende
Landskapsøkologiske mønstre	Betydelige avvik	Delvis dekkende
Biologisk mangfold	Ingen avvik	Begrenset
Abiotiske forhold	Betydelige avvik	Dekkende

3.3.4 Vurdering av fremtidig utvikling

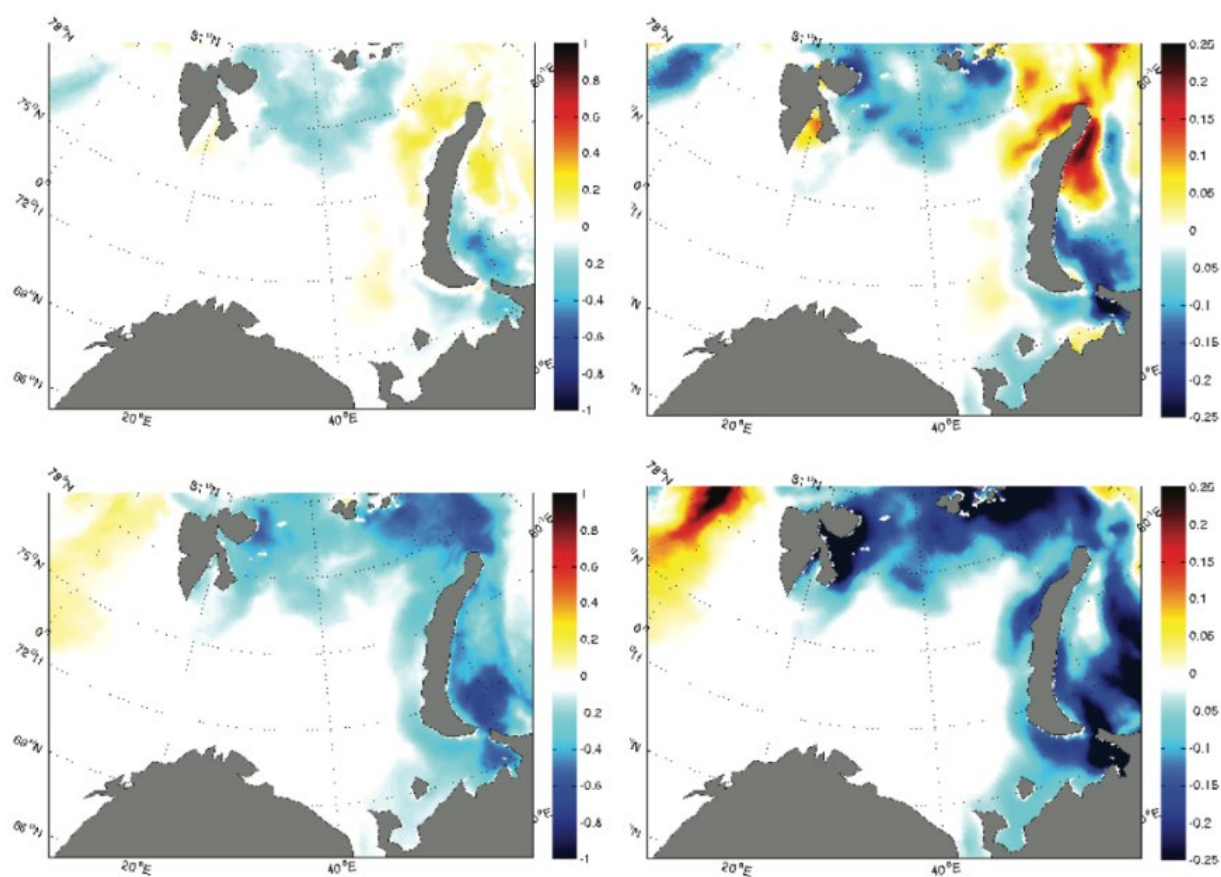
Vurdering av fremtidig utvikling kan i første rekke gjøres for forhold knyttet til klima. Ulike modeller har blitt brukt til å lage projeksjoner for vanntemperatur, isutbredelse og havforsuring for Barentshavet (Arneberg & Jelmert 2017, Skogen et al. 2014). Nedenfor er det først vist resultater fra disse. Deretter er implikasjoner for utvikling av de biologiske delene av økosystemet drøftet.

Frem mot periodene 2026-2035 og 2060-2069 er det forventet betydelig økning i havtemperatur i den arktiske delen av Barentshavet (**figur 3.2**). Det er samtidig forventet at iskonsentrasjon og istykkelse vil avta (**figur 3.3**). Det er også forventet at pH vil avta som følge av opptak av CO₂ fra menneskeskapte kilder (**figur 3.4**). Denne endringen fører også til at metningshorisonten for aragonitt (dvs dypet der det er undermetning for denne viktige kalkforbindelsen) flytter seg betydelig oppover i vannsøylen, og bidrar til at også overflatevann vil være undermettet i perioder av året (Skogen et al. 2014).

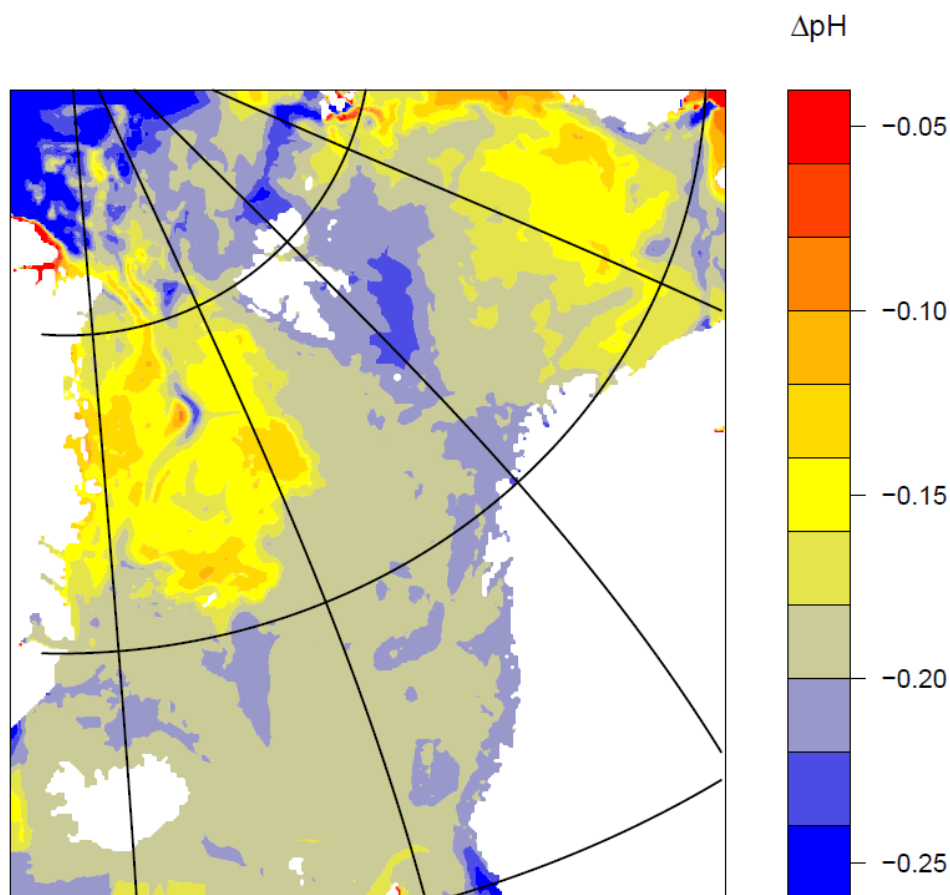
Som beskrevet i den samlede vurderingen av den økologiske tilstanden i arktisk del av Barentshavet, er tilstanden allerede påvirket av endringer i klima i så stor grad, at det er vurdert å være dårlig økologisk tilstand i området. Når klimaet i fremtiden er forventet å fortsette å endre seg på tilsvarende måte som en alt har sett, vil den økologiske tilstanden sannsynligvis fortsette å forverre seg. Det kan skje ved at allerede observerte endringer forsterkes og ved at nye endringer inntreffer. For eksempel kan fenomener knyttet til klima, og som er beskrevet her men enda ikke inntruffet, manifestere seg. I tillegg kan mulige effekter av havforsuring manifestere seg. Det er foreløpig vurdert at havforsuring ikke har betydelige effekter på økosystemet i Barentshavet (Arneberg & Jelmert 2017), men dette kan endre seg som følge av de forventede endringene i vannkjemi knyttet til havforsuring. Det er uklart hvilke effekter havforsuring kan ha på marine økosystemer (Browman 2016), men det er rimelig å anta at også de kan bidra til at den økologiske tilstanden blir dårligere.



Figur 3.2 Forventede endringer basert på modellkjøring for atmosfæretemperatur (venstre) og overflatetemperatur i havet (høyre) for mars fra 2010-2019 til henholdsvis 2026-2035 (øverst) og 2060-2069 (nederst). Modellresultatene lufttemperatur er hentet fra den norske jordsystemmodellen NorESM, mens overflatetemperatur i havet er nedskalert fra NorESM med den regionale havmodellen ROMS. Fra (Arneberg & Jelmert 2017).



Figur 3.3. Forventede endringer basert på modellkjøring for iskonsentrasjon (venstre) og istykkelse (høyre) for mars fra 2010-2019 til henholdsvis 2026-2035 (øverst) og 2060-2069 (nederst). Figur fra (Arneberg & Jelmert 2017) etter metodikk beskrevet av (Overland & Wang 2007).



Figur 3.4 Forventet endring i pH fra år 2000 til 2065. I figuren ses forventet endring for hele det nordiske hav. Den midlere pH-verdien i overflaten forventes å gå ned 0,19 enheter. De største pH-reduksjonene (blå og mørkeblå områder) er forventet langs norskekysten og i Barentshavet rundt Svalbard. Grunnlaget for figuren er et simulert karbonatsystem fra år 2000 med et fra 2065, der nedskalert fysikk fra en global klimamodell og utslipps-scenarior A1B er brukt. Etter (Skogen et al. 2014).

3.4 Anbefalinger for videre overvåking og forskning

Her er det først gitt betraktninger knyttet til pilottesten. Etter det er det gitt noen generelle betraktninger om utvikling av fagpanelprinsippet for norske havområder generelt.

Pilottesten i arktisk del av Barentshavet har vært basert på et begrenset indikatorsett, der det inngår både etablerte indikatorer fra arbeidet med de helhetlige forvaltningsplanene for norske havområder og indikatorer som er blitt utviklet i løpet av piloten. De siste vil trenge fortsatt utvikling, testing og kvalitetssikring før operasjonalisering av Fagsystemet (Appendiks 1 til vedlegg 2).

Behovet for å inkludere ytterligere indikatorer i systemet vil i første rekke knyttes til indikatordekningen for de ulike egenskapene. Nedenfor er det først gitt en nærmere beskrivelse av vurdering av indikatordekningen for hver av de syv økosystemegenskapene i den arktiske delen av Barentshavet. Deretter er mulige nye indikatorer listet opp (**tabell 3.4**). Det er så langt ikke gjort en vurdering av hvordan disse indikatorene kan dekke opp manglene for de ulike egenskapene, og dette vil måtte gjøres frem mot operasjonalisering av fagsystemet.

Behovet for forskning vil i stor grad være knyttet til behovet for å utarbeide bedre fenomener. Det vil i først rekke være mest aktuelt å vurdere for fenomener hvor gyldighetene er vurdert til å være begrenset, men også fenomener med middels gyldighet. Slike vurderinger er ikke gjort i piloten og vil bli en del av operasjonaliseringen.

Indikatordekningen (gitt i parentes) og vesentlige mangler er vurdert slik for de ulike egenskapene:

Primærproduksjon (delvis dekkende)

I pilotprosjektet benyttes to indikatorer for primærproduksjon, *Årlig primærproduksjon* og *Tidspunkt for våroppblomstring*. Begge er basert på fjernmålingsdata, og reflekterer to grunnleggende aspekter ved egenskapen. Det mangler imidlertid indikatorer basert på *in situ* målinger av planteplankton. Slike målinger vill kunne brukes både til å kalibrere resultater fra satellittdata, og til å gi mer detaljert informasjon om for eksempel artssammensetning.

Biomasse mellom trofiske nivå (Begrenset)

I pilotprosjektet er denne egenskapen basert på en enkelt indikator som inkluderer informasjon om en relativt stor del av økosystemet. *Gjennomsnittlig trofisk nivå* er basert på biomasse estimater for hoveddelen av organismer som blir fanget i pelagisk og bunn-trål. Det bør her kompletteres med mer spesifikke indikatorer som for eksempel måler gjennomsnittlig trofisk nivå i ulike organismegrupper (for eksempel ulike grupper av fisk og bunndyr separat) og/eller parvise biomasseforhold mellom grupper fra ulike trofiske nivå.

Funksjonelle grupper (Begrenset)

I pilotprosjektet er det fokusert på trofisk funksjonelle grupper, relatert til karakteristisk foringshabitat og diett. Både forholdstall mellom hovedgrupper (pelagisk vs. bentisk) og biomasse av viktige funksjonelle grupper er brukt som indikatorer. Det er imidlertid svært mange måter man kan undersøke endringer i funksjonelle grupper, og det bør undersøkes muligheter for å inkludere indikatorer som fokuserer på andre aspekter ved organismenes funksjon (Degen et al. 2018, Jørgensen et al. 2019, Wiedmann et al. 2014).

Funksjonelt viktige arter og strukturer (Delvis dekkende)

I denne egenskapen inngår i pilotprosjektet de viktigste arter av fisk og hoppekreps, men andre nøkkelarter i systemet er ikke dekket av indikatorer. Det bør inkluderes indikatorer også for krill og pelagiske amfipoder som er viktige byttedyr i økosystemet i arktisk del av Barentshavet. Det kan også vurderes å inkludere andre arter eller strukturer som er spesielt viktige for økosystemet, for eksempel isbiota.

Landskapsøkologiske mønstre (Delvis dekkende)

I pilotprosjektet er det fokusert på leveområder for arktiske arter tilpasset kalde arktiske vannmasser og isdekke. Det bør i tillegg inkluderes indikatorer for leveområder i bunnhabitat, for eksempel basert på temperaturnisjer. Bunnhabitat blir også forstyrret av bunntålingsaktivitet, og det bør utvikles en indikator relatert til areal som er påvirket av bunntåling.

Biologisk mangfold (Begrenset)

I pilotprosjektet er det kun blitt brukt en type indikator (*artsutskiftingsrater*) for å vurdere biologisk mangfold. De inkluderte indikatorene er basert på artsforekomster av bunnfisk og sjøfugl. Dette er en begrenset vurdering av biologisk mangfold. Muligheten for å inkludere tilsvarende indikator for andre organismegrupper bør undersøkes, for eksempel plankton, pelagisk fisk og ulike grupper av bunndyr. Det kan også vurderes å inkludere indikatorer som baseres på ratio mellom for eksempel arktiske vs boreale arter, eller bestandsstørrelser av arter sensitive for ulike typer av menneskelig påvirkning.

Abiotiske forhold (Dekkende)

I pilotprosjektet er de mest sentrale abiotiske forholdene som er styrende for klimasystemet i arktisk del av Barentshavet dekket av indikatorer. I tillegg til disse vil det være verdifullt å inkludere

en indikator som belyser næringstilgang, noe som også er en grunnleggende abiotisk faktor i et økosystem. Det er sannsynlig at havforsuring vil kunne påvirke økosystemet i arktisk del av Barentshavet i fremtiden, og indikatorer for dette bør også utvikles.

Tabell 3.4. Forslag til ytterligere indikatorer som kan inngå i fagsystem for vurdering av økologisk tilstand for arktisk del av Barentshavet. Det er angitt hvilke av de syv økosystemegenskapene indikatoren tilhører, hva som er antatt viktigst påvirkning, i hvilken tidshorisont indikatoren kan utvikles. Med kort sikt menes innen fem år. I mange tilfeller vil utvikling kunne gjøres raskere enn dette. Med lang sikt menes over fem år.

Egenskap og Indikator	Påvirkning	Merknad	Kort / lang sikt	Data eksisterer
Primærproduksjon				
Artssammen-setning plante-plankton	Klima	Type planteplankton kan påvirkes av klimaendringer og ha stor betydning for beitere, skifte fra for eksempel kiselalger til små flagellater kan være viktig og har vært observert vest for Svalbard.	Ikke avklart	Ja dersom dette kan utvikles fra satellittdata, nei hvis ikke
Funksjonelle grupper				
Funksjonell diversitet	Klima, beskatning, forurensing, fremmede arter, arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Målt med metoder utviklet for næringsnettstudier og med data på økosystemtoktet	Kort sikt	Ja
Funksjonelt viktige arter og strukturer				
Isbiota	Klima	Herunder isalgen <i>Nitzschia</i> ,	Ikke avklart	Nei
Mengde krill	Klima	Spesielt <i>Thysanoessa</i> .	Kort sikt	Ja
Pelagiske amfipoder	Klima	Særlig <i>Themisto</i> sp.	Kort sikt	Ja
Landskapsøkologiske mønstre				
Områder forstyrret av bunntåling	Arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Angir størrelse på områder forstyrret av bunntåling. Kan få med norsk og internasjonal tråling - russiske data blir vanskeligere å få inkludert.	Kort sikt	Ja dersom det kan utvikles fra internasjonal database basert på vms-data
Temperaturi-sjer bunn	Klima	Størrelse på bunnhabitater med forskjellig temperatur	Kort sikt	Ja
Biologisk mangfold				
Artsutskiftings-rater pelagisk fisk	Klima, beskatning, forurensing, fremmede arter, arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Måles som beta-diversitet mellom tidspunkter, må bruke data på arter som registreres med god sikkerhet.	Kort sikt	Ja
Artsutskiftings-rater bunndyr	Klima, beskatning, forurensing, fremmede arter, arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Måles som beta-diversitet mellom tidspunkter, må bruke data på arter som registreres med god sikkerhet.	Kort sikt	Ja
Andel arktiske vs boreale arter	Klima	Minkende andel arktiske arter angir tilstand ved menneskelig påvirkning. Mulig for demersal fisk, usikkert for bunndyr.	Kort sikt	Ja

Bestandsstørrelse av typisk arktiske arter	Klima	Det må identifiseres hvilke arter som er aktuelle	Kort sikt	Ja
Bestandsstørrelse av bunn-dyr sårbare for bunntråling	arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Utvalg av arter basert på egenskaper som: fastsittende, høyreist, lang generasjonstid (Jørgensen et al. 2019)	Kort sikt	Ja
Bestandsstørrelse av bunn-dyr sårbare for predasjon fra snøkrabbe	fremmede arter	Utvalg av arter basert på diettstudier og byttedyregenskaper som liten størrelse (Jørgensen et al. 2019)	Kort sikt	Ja
Genetisk mangfold	Klima, beskatning, forurensing, fremmede arter, arealbruk (bunnpåvirkning fra tråling)	Metoder for dette finnes ikke enda, men kan bli tilgjengelige gjennom utvikling av nye genetiske metoder, kan være aktuelt om 10-20 år.	Lang sikt	Nei
Abiotiske forhold				
Strømningsforhold	Klima	innstrømming av atlantisk vann	Kort sikt	Ja
Næringssalter	Forekomst i øvre vannlag kan påvirkes av klima gjennom påvirkning på stratifisering	Setter rammer for primærproduksjon	Kort sikt	Ja
pH og metningshorisont for aragonitt	Klima, forurensing	Relatert til havforsuring	Lang sikt	Er under utvikling, men det er ikke en tidsserie som kan brukes enda

Når det gjelder betraktninger om utvikling av fagpanelprinsippet for norske havområder generelt, er det gjort noen erfaringer i piloten som er relevante. Det viktigste er at det lot seg gjøre en meningsfull vurdering med et begrenset indikatorsett i den arktiske delen av Barentshavet som kan anvendes i forvaltningen (se kap 1.4). Når flere indikatorer vil legges til i en operasjonalisering av systemet, viser dette med tydelighet at systemet er klart for å operasjonaliseres for arktisk del av Barentshavet og de andre systemer med tilsvarende overvåking og forskningsdekning. Dette inkluderer i første rekke de øvrige økosystemene i Barentshavet og i Nordsjøen. Også her vil dette gi vurderinger som kan brukes i forvaltningen (kap 1.4). For systemer med betydelig overvåking, men likevel med mindre omfang enn Barentshavet og Nordsjøen, som for eksempel Norskehavet (ICES 2019), er erfaringen fra piloten at en utprøving vil avdekke hvilke aspekter av økosystemet som lar seg vurdere med rimelig grad sikkerhet i konklusjonene og hvilke aspekter av vurdering det er knyttet større usikkerhet til, basert på datadekning for indikatorene, indikatordekning for økosystemegenskapene og dekning med forskningsarbeid som kan brukes til å utvikle gyldige fenomener. Ved at alle stegene i protokollen dokumenteres tydelig, er en erfaring fra piloten at en gjennom slik utprøving vil avdekke hvor det er betydelige mangler i overvåking og forskning. Som beskrevet ovenfor vil vurdering av fenomenenes gyldighet og egenskapenes indikatordekning være viktige her. Så er det samtidig viktig å påpeke at selv om det er betydelige datamangler i et system, så løser man ikke slike problemer ved å bytte protokoll (f.eks. Pedersen et al. 2018). Viktigere er det at både avvik fra økologisk tilstand og sikkerhet i vurdering er tydelig vurdert og at det samtidig er gode vurderinger av hvilke kunnskapsbehov som må tilfredsstilles for å gjøre en bedre vurdering.

4 Høyarktisk og lavarktisk tundra

Jane U. Jepsen, Nigel G. Yoccoz og Rolf A. Ims

Bidragstere (alfabetisk): Ragnhild Bjørkås (NINA), Kari Anne Bråthen (UiT), Hanna Bøhner (UiT), Dorothee Ehrich (UiT), Eva Fuglei (NP), John-Andre Henden (UiT), Ketil Isaksen (MET), Jesper Madsen (AU), Åshild Ø. Pedersen (NP), Virve Ravolainen (NP), Eeva Soininen (UiT), Audun Stien (NINA), Ingunn Tombre (NINA), Torkild Tveraa (NINA), Ole Einar Tveito (MET), Ole Petter L. Vindstad (UiT).

I det følgende redegjøres for arbeidet med utvikling og pilottest av protokoller for høyarktisk og lavarktisk tundra. For å få en realistisk vurdering både av protokoller og av arbeidsinnsatsen som er påkrevd for en fremtidig operasjonell vurdering av arktisk tundra, er testen gjennomført på et stort utvalg av indikatorer og på et omfattende datagrunnlag for begge økosystemer. Vurderingen er imidlertid gjort basert på et noe mindre indikatorsett for enkelte egenskaper enn det som er ønskelig i en operasjonell versjon av fagsystemet. I noen tilfeller er også formuleringene av indikatorene noe foreløpige med behov for videreutvikling frem mot operasjonell versjon. Dette behovet er adressert for hver enkelt indikator i vedlegg til den aktuelle protokollen (Vedlegg 3 til denne rapporten). Vurderingen her kan dermed ikke betraktes som gjeldende, men som en illustrasjon av hvordan metoden bør gjennomføres. Vi oppsummerer først kunnskapsgrunnlaget og indikatorer for arktisk tundra (4.1). Deretter redegjøres for valg av protokoll (4.2) med utgangspunkt i kunnskapsgrunnlaget som er til rådighet for arktisk tundra. Den samlede vurderingen av tilstanden for hver egenskap og for økosystemet som helhet gis i kap. 4.3. Til slutt adresserer vi anbefalinger for videreutvikling av indikatorsettet for arktisk tundra frem mot en operasjonell vurdering (4.4).

4.1 Kunnskapsgrunnlag og indikatorer

4.1.1 Datagrunnlaget for arktisk tundra

Datagrunnlaget for arktisk tundra hentes fra langsiktige tematiske overvåkingsprogrammer og -systemer (COAT – Klimaøkologisk observasjonssystem for arktisk tundra, MOSJ – Miljøovervåking Svalbard og Jan Mayen, Hjorteviltportalen, Reinbase, Hønsefuglportalen, internasjonal overvåking av arktiske gåsebestander), meteorologiske overvåkingsprogrammer (SeNorge, METs stasjonsnettverk), internasjonale fjernmålingsprogrammer, og fra Miljødirektoratets egne tjenester (Inngrepsfri natur, INON). En detaljert liste med alle anvendte datasett og deres tilgjengelighet finnes i den anvendte protokollen (Vedlegg 3 til denne rapporten, **tabell 2.2a,b**). Både MOSJ og COAT er dedikerte spesifikt til overvåking av arktiske økosystemer. MOSJ har et bredt fokus på forvaltningsrelevante miljøindikatorer for både atmosfære, land, og hav inkludert påvirkningsfaktorer slik som fiskeri, ferdsel og forurensning. COAT har et smalere fokus på spørsmålsdrevet, adaptiv overvåking av klimaeffekter på høy- og lavarktiske tundraøkosystemer, og henter sentrale tilstandsvariabler fra alle de ovennevnte programmer. Tett integrasjon opp mot forvaltning er sentralt i COAT og realiseres eksempelvis gjennom lokale referansegrupper, og test av adaptive forvaltningstiltak (f.eks. på fjellrev og målerrammet skogtundra). COAT Svalbard inngår som en sentral komponent i den terrestre delen av SIOS – Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System.

Den romlige dekningen til MOSJ og COAT bestemmer den romlige dekningen til store deler av dagens datagrunnlag for indikatorer for tundra i Fagsystemet. Overvåkingen av terrestre dyrearter i MOSJ har, til dels av logistiske hensyn, hatt sitt hovedfokus i nærområdene til Longyearbyen og Ny Ålesund. Det innebærer at lange feltbaserte tidsserier er begrenset til de sentrale dalene på Nordenskiöldland og til Brøggerhalvøya. Av logistiske hensyn og av hensyn til vernebestemmelserne er det vanskelig å se for seg at datagrunnlaget for høyarktisk tundra noen gang kan bli 'arealrepresentativt' *sensu stricto*, og man bør derfor fokusere på å oppnå romlig representativitet gjennom gode modellbaserte design som tillater generaliseringer og ekstrapolasjoner av

sammenhenger utover de overvåkede områdene (Miller et al. 2004). Det er derfor viktig å vurdere datagrunnlaget ikke kun med tanke på arealrepresentativitet, men også med tanke på om datagrunnlaget tillater modellbaserte generaliseringer. En detaljert vurdering av den romlige representativitet av hvert datasett anvendt i piloten for tundra finnes i den anvendte protokollen (Vedlegg 3 til denne rapporten, **tabell 6.1a,b**). COAT Svalbard er underlagt samme logistiske og geografiske hensyn som MOSJ og bygger på og supplerer den langsiktige overvåkingen i MOSJ. På fastlandet bygger COAT på lang tids forskningsinnsats i Øst-Finnmark, med særlig fokus på Varangerhalvøya. Lavarktisk tundra og den assosierte økotonen mot nordboreal skog (skog-tundra) har her et mindre geografisk omfang enn landområdene på Svalbard. Dessuten er det færre logistiske begrensninger, og dermed større muligheter både for utvidelse av dagens overvåking og for å gjennomføre uavhengige tester av hvorvidt estimerer fra lokale modellbaserte design er ekstrapolerbare til større skala.

Den tidsmessige deknningen av datagrunnlaget for arktisk tundra ble grundig vurdert i forrige rapport (Jepsen et al. 2018; kap. 3). Her ble det både vurdert om datagrunnlaget var overlappende med den klimatiske referanseperioden og, dersom dette ikke var tilfellet, om det var samlet i en periode som avvok vesentlig fra den klimatiske referanseperiode. For størsteparten av indikatorer var konklusjonen at de ikke, eller kun i begrenset grad sammenfalt med den klimatiske referanseperioden, samt at de var samlet i et klima som hadde vesentlige avvik fra klimaet i referanseperioden, i særdeleshet med hensyn til temperatur. Datagrunnlaget må altså antas å representere en tilstand som ikke tilsvarer et 1961-1990 klima. For flertallet av indikatorene vet vi at de i stor grad allerede er påvirket av andre menneskelige drivere enn klimaendringer inkl. historisk høsting (f.eks. for fjellrev), og forvaltning (f.eks. fravær av store rovdyr) og at disse påvirkninger går lengere tilbake enn dagens datagrunnlag. Det er derfor i stor grad ukjent hvilke verdier indikatorene ville ha i et intakt økosystem. En mere detaljert vurdering av den tidsmessige representativitet av hvert datasett anvendt i piloten for tundra finnes i den anvendte protokollen (Vedlegg 3 til denne rapporten, **tabell 6.1a,b**).

4.1.2 Metoder for beregning av indikatorverdier fra datagrunnlaget

I den utfylte protokollen redegjøres for analysemetodene for beregning av indikatorverdier fra datagrunnlaget, med detaljer for hver enkelt indikator på tabellform (Vedlegg 3 til denne rapporten, **tabell 3.1a,b**). Her gir vi kun en kort overordnet oppsummering. Datagrunnlaget for arktisk tundra inkluderer kontinuerlige eller diskontinuerlige tidsserier av biotiske eller abiotiske variabler, modellerte griddede klimadata og satellittbaserte data på primærproduksjon. Beregningen av indikatorverdier vil avhenge av datatypen, men så langt det er mulig har et felles analytisk rammeverk blitt fulgt for alle indikatorer:

- Endringsrater for kontinuerlige tidsserier er beregnet med autoregressive (AR) modeller med en struktur for residualene tilpasset datasettet og utvalgt basert på AIC. Mulige modeller var: 1) AR0, dvs en vanlig lineær regresjon med uavhengige residualer, 2) AR1, dvs 1ste orden autoregressiv modell for residualer, 3) AR2, 2dre orden autoregressiv modell for residualer, og 4) ARMA11, dvs 1ste orden autoregressiv og glidende gjennomsnitt-modell. For enkelte tidsserier med kjent struktur, som for eksempel smågnagere, brukte vi systematisk AR2 modeller.
- Endringsrater for modellerte (griddede) klimadata er beregnet for årene etter den klimatiske referanseperioden (dvs 1991-i dag), med en to-trinns bootstrap: 1) bootstrap av data for de første 30 årene (1961-90) som grunnlaget for å estimere usikkerhet i gjennomsnittet for referanseperioden, 2) bootstrap av data for 1991-2017/8, med en lineær regresjonsmodell med utgang i gjennomsnittet for 1961-90. Ikke alle abiotiske indikatorer kan estimeres basert på en enkel lineær sammenheng. For indikatorer som hadde lineære endringer på log-skala og fordelinger tilsvarende Poisson (eks. uttrykt som antall dager, eller med en varians proporsjonal med gjennomsnittet), ble det brukt en log-lineær modell og en to-trinns bootstrap. Den eneste forskjellen var at det i trinn 2, ble brukt gjennomsnittet for 1961-90 som offset i en generalisert lineær modell (glm) funksjon.

- For heldekkende griddede data (dvs klimadata og satellittdata) presenteres endringsrater også romlig på kart slik at den romlige konsensus i eventuelle endringer kan vurderes.
- For diskontinuerlige serier med få målinger (f.eks. INON), vises estimater per vurderingsår, men det beregnes ikke endringsrater over tid.

4.1.3 Indikatorer anvendt for arktisk tundra i pilottesten

Piloten er basert på 36 indikatorer for lavarktisk tundra og 21 indikatorer for høyarktisk tundra. Alle disse er klare til bruk, enten i sin nåværende form eller med begrenset videreutvikling, jf. anbefalinger i den utfylte protokollen (vedlegg 3). **Tabell 4.1a,b** oppsummerer alle indikatorer fordelt på egenskap, deres datadekning samt egenskapens samlede indikatordekning, basert på vurderingene gjort i Fagpanelprotokollen.

4.2 Vurdering av datagrunnlagets og indikatorsettets egnethet for de ulike protokollene

De overordnede betingelser som de ulike protokollene setter til datagrunnlaget og indikatorsettet, er redegjort for i kap 2. Med utgangspunkt i disse, redegjør vi her for datagrunnlagets og indikatorsettets egnethet for de ulike protokoller for arktisk tundra. Sentralt står mulighetene for å sette empiriske referanseverdier for god tilstand, empiriske grenseverdier for når indikatoren er i dårlig tilstand, samt en verdi for når indikatoren er i «helt ødelagt» tilstand som nullpunkt for skalering. Disse verdier trengs for indeksprotokollen (Nybø et al. 2019), men ikke for fagpanelprotokollen. Fagpanelprotokollen krever derimot at man kan sette opp en eller flere formaliserte forventninger til hvordan hver indikator endrer seg mot dårligere tilstand som resultat av menneskelige drivere (såkalte 'fenomener'), som kan være enten kvantitative (og dermed tilsvare grenseverdier) eller kvalitative.

For flesteparten av indikatorer for arktisk tundra er klima og klimaendringer en sentral (direkte eller indirekte) påvirkningsfaktor (**tabell 4.2a,b**). Til tross for at datagrunnlaget for mange biotiske indikatorer for arktisk tundra vurderes som godt til svært godt etter kriteriene i fagpanelprotokollen, så dekker det en periode som har begrenset tidsmessig og klimatisk overlapp med den klimatiske referanseperioden. Dette er dokumentert i Jepsen et al. (2018). Det vil derfor ikke være mulig å beregne empirisk baserte referanseverdier som er representative for et 1961-1990 klima. For flertallet av indikatorer vet vi at de i stor grad allerede er påvirket av andre menneskelige drivere enn klimaendringer inkl. historisk høsting (f.eks. for fjellrev), og forvaltning (f.eks. fravær av store rovdyr) og at disse påvirkninger går lengere tilbake enn dagens datagrunnlag. Det er derfor i stor grad ukjent hvilke verdier de ville ha hatt i et intakt økosystem. For de fleste indikatorer har vi imidlertid en relativt god forståelse for deres rolle (f. eks. den funksjon de reflekter) i økosystemet, deres viktigste drivere samt hvilke sentrale biotiske interaksjoner de inngår i. Dette betyr vi kan formulere relativt gyldige, men for det meste kvalitative, formaliserte forventninger til hvordan menneskelige drivere vil påvirke indikatoren, samt hvordan endringer i indikatoren vil påvirke andre deler av økosystemet.

Grenseverdiene skal representere en overgang fra god til dårlig økologisk tilstand for indikatorene. For svært få økologiske sammenhenger i arktisk tundra finnes det empirisk baserte grenseverdier som definerer diskrete økosystemtilstander. Et unntak kan være bioklimatiske indikatorer som definerer utbredelsesgrenser for viktige funksjonelle arter/grupper (f. eks. habitatbyggende vekstformer), eller hele økosystemer (bioklimatiske undersoner av tundra). For enkelte biotiske indikatorer er det mulig å kombinere kvantitative grenseverdier/phenomener (f.eks. basert på fastsatte bærekraftsmål for arktiske gåsebestander eller bærekraftige reintall fastsatt av forvaltningen), med kvalitative fenomener. Men selv for slike indikatorer vil ofte grenseverdiene ikke være entydige, fordi de vil være modifisert i ukjent grad av abiotiske og biotiske forhold (Groffman et al. 2006, Samhuri et al. 2017). I noen tilfeller kan grenseverdier/kvantitative fenomener

etableres gjennom å dokumentere ikke-lineære responser til drivere. Flere av indikatorene i arktisk tundra har slikt potensial, men dette er kun i begrenset grad utforsket rent analytisk. Eksempelvis har man for indikatoren Fjellbjørk i skogtundra dokumentert en tydelig ikke-linearitet mellom beitepåvirkning fra insektutbrudd og stammedødelighet (Vindstad et al. 2019) der overskridelsen av et visst nivå av beitepåvirkning fører til et brått skifte i skogens tilstand. Andre eksempler i arktisk tundra som kan utforskes med tanke på utvikling av grenseverdier/kvantitativt fenomener er plutselige skifter i samvariasjon mellom normalt sterkt koplede nivåer i næringskjeder (f.eks. smågnagere og karnivorer) noe som kan indikere abundansgrenser for når det ene nivået har en vesentlig redusert påvirkning av det andre.

Skalering av indikatorer krever dels at indikatorverdien er et biologisk meningsfullt nullpunkt (som uttrykker «helt ødelagt» tilstand, eller «fravær» av indikatoren), dels at den har en noenlunde entydig (evt. tvetydig) forhold til egenskapens eller økosystemets tilstand. For arktisk tundra har anslagsvis 2/3 av indikatorene et noenlunde entydig forhold til systemets tilstand i den forstand at man har en begrunnet forventning om hvorvidt det er en positiv eller negativ sammenheng mellom indikatorverdien og dårlig tilstand. De resterende har et flertydig forhold til tilstand, og vil dermed kreve skalering mot minst to 'nullpunkter' for ødelagt tilstand. Uavhengig av forholdet mellom indikatorverdi og tilstand, fins det indikatorer som ikke har et økologisk meningsfullt nullpunkt. For arktisk tundra gjelder det eksempelvis indikatorer for egenskapene Primærproduksjon (start på vekstsesongen), Abiotiske forhold (f.eks. flere temperaturbaserte indikatorer), Biomasse mellom trofiske nivåer (f.eks. biomasseratioer), og Funksjonelle grupper (f.eks. artsratioer).

Det følger av det overstående at både datagrunnlaget, indikatorsettet og graden av økologisk forståelse for arktisk tundra tilsier at økosystemet bør vurderes med en protokoll, som ikke betinger at man må sette kvantitative referanse-, grenseverdier, men som samtidig kan håndtere slike og som ikke krever skalering av indikatorer. I det etterfølgende anvendes dermed fagpanelprotokollen. Vi hadde imidlertid en forventning om at indeksprotokollen ville kunne håndtere skaleringen av alle typer indikatorer, og at vi dermed ville kunne teste begge protokoller opp mot hver andre for de abiotiske indikatorer, der referanseverdier med rimelighet kan settes som lik gjennomsnittet for den klimatiske referanseperioden. Indeksprotokollen har foreløpig ikke en løsning for skalering av indikatorer uten et økologisk meningsfullt nullpunkt, så dette har ikke latt seg gjennomføre.

Tabell 4.1a. Liste over alle indikatorer inkludert i pilottesten for lavarktisk tundra. Indikatorenes samlede datadekning, slik den er vurdert etter kriteriene i fagpanelprotokollen, er oppsummert som Grønn: svært god, Gul: god, Oransje: middels, Rød: dårlig. For en detaljert redegjørelse av datadekningen og samlet indikatordekning se **tabell 6.1a** i den utfylte protokollen (vedlegg 3 til denne rapporten).

Indikatorer per egenskap	Indikatorens datadekning (DDi)	Egenskapens samlede indikatordekning (IDe)
Primærproduksjon		
Maksimal produktivitet	Svært god	Delvis dekkende
Start på vekstsesongen	Svært god	
Plantebiomasse	Svært god	
Biomasse mellom trofiske nivåer		
Plantevekstformer vs. smågnagere	Svært god	Dekkende
Plantevekstformer vs. drøvtyggere	Svært god	
Smågnagere vs. karnivore vertebrater	Svært god	
Drøvtyggere vs. karnivore vertebrater	God	
Funksjonelle grupper		
Plantevekstformer	Svært god	Dekkende
Herbivore vertebrater	Svært god	
Karnivore vertebrater	God	
Funksjonelt viktige arter og strukturer		
Krattdannende vier	God	Delvis dekkende
Krekling	Svært god	
Fjellbjørk i skogtundra	God	
Lemen	God	
Rype	God	
Tamrein abundans	Svært god	
Tamrein kalvevekt	God	
Tamrein produksjon	Svært god	
Rødrev kameraindeks	God	
Landskapsøkologiske mønstre		
Snøleier	Svært god	Delvis dekkende
Bioklimatiske undersoner	Svært god	
Areal inngrepsfrie naturområder (INON)	Svært god	
Biologisk mangfold		
Fjellrev abundans	God	Begrenset
Fjellrev produksjon	God	
Fjellrev kameraindeks	Svært god	
Snøugle abundans	Middels	
Snøugle produksjon	Middels	
Fuglesamfunn	Middels	Delvis dekkende
Abiotiske forhold		
Ekstremkuldedager	Svært god	
Vintermildværsdager	Svært god	
Graddager	Svært god	
Graddagssum vekstsesong	Svært god	
Nedbør	Svært god	
Nedbør vekstsesong	Svært god	
Snødekke varighet	Svært god	
Bakkeis	Middels	

Tabell 4.1b. Liste over alle indikatorer inkludert i pilottesten for høyarktisk tundra. Indikatorennes samlede datadekning er oppsummert med farge (grønn: svært god, gul: god, oransje: middels, rød: dårlig). For en detaljert redegjørelse av datadekningen og samlet indikatordekning se **tabell 6.1b** i den utfylte protokollen (vedlegg 3 til denne rapporten).

Indikatorer per egenskap	Indikatorennes datadekning (DDi)	Egenskapens samlede indikatordekning (IDe)
Primærproduksjon		
Maksimal produktivitet	Svært god	Begrenset
Start på vekstsesongen	Svært god	
Biomasse mellom trofiske nivåer		
Plantevekstformer vs. Svalbardrein	Middels	Dekkende
Plantevekstformer vs. gjess	God	
Herbivore vertebrater vs. fjellrev	Middels	
Funksjonelle grupper		
Herbivore vertebrater	Middels	Begrenset
Funksjonelt viktige arter og strukturer		
Kortnebbgås abundans	God	Delvis dekkende
Hvitkinngås abundans	God	
Svalbardrein abundans	Middels	
Svalbardrein produksjon	Middels	
Svalbardrein dødelighet	Middels	
Fjellrev abundans	Middels	
Landskapsøkologiske mønstre		
Bioklimatiske undersoner	Svært god	Delvis dekkende
Areal inngrepsfrie naturområder (INON)	God	
Biologisk mangfold		
Svalbardtype abundans	Svært god	Begrenset
Abiotiske forhold		
Ekstremkuldedager	Svært god	Delvis dekkende
Vintermildværsdager	Svært god	
Julitemperatur	Svært god	
Nedbør	Svært god	
Permafrost	Middels	
Snødekke varighet	Svært god	

4.3 Samlet vurdering av økologisk tilstand for arktisk tundra basert på fagpanelprotokollen

Det grunnleggende prinsippet bak fagpanelprotokollen er oppsummert i kap. 2.4 og detaljert i den tekniske protokollen (vedlegg 1 til denne rapporten). I det følgende oppsummerer vi først alle fenomener som er anvendt som grunnlag for vurderingen, deretter gis den samlede vurderingen for hver egenskap, og økosystemet som helhet. For arktisk tundra har protokollen blitt testet i sin helhet basert på alle indikatorer listet i **tabell 4.1a,b**. Samlet vurdering av egenskapene blir gjort separat for høy- og lavarktisk tundra, mens den samlede vurdering adresserer økosystemet som helhet.

4.3.1 Anvendte fenomener

Formuleringen av mest mulig gyldige fenomener, altså formaliserte forventninger til hvordan hver indikator endrer seg mot dårligere tilstand som resultat av menneskelige drivere, står sentral i fagpanelprotokollen. Hver indikator har ett, eller evt. flere, tilknyttede fenomener, og avvik fra god tilstand vurderes ut fra i hvilken grad disse fenomener har inntruffet. Fenomenet gis en utførlig begrunnelse, med henvisninger til litteratur, for å sikre at fagpanelets vurdering av fenomenet er etterprøvbart. Begrunnelsen inneholder en kort beskrivelse av fenomenet i god tilstand, de viktigste menneskelige drivere, en vurdering av hvor sikker koplingen til disse drivere menes å være (sikker, mindre sikker), samt en vurdering av hvor god forståelsen er for indikatorens rolle i økosystemet (god, mindre god). Endelig gis så langt det er mulig, eksempler på typer av endringer som kan betraktes som biologisk betydelige. Disse begrunnelsene utgjør en kort kunnskapsstatus, som bør oppdateres forut for hver vurdering av økosystemet (e.g. hvert omløp i fagsystemet) siden den er et viktig grunnlag for fagpanelets vurdering. I det følgende gjengir vi ikke begrunnelsen i sin helhet, men viser til kap. 4 i den anvendte protokollen (vedlegg 3 til denne rapporten) der disse finnes i sin helhet. **Tabell 4.2a,b** gir en oversikt over alle anvendte fenomener, samt en kortfattet oppsummering av hva som oppfattes som normativ god tilstand, samt eksempel på hva som kan utgjøre et biologisk betydelige avvik fra god tilstand.

Tabell 4.2a. Oppsummering av fenomener for lavarktisk tundra. Hvert fenomen er begrunnet utførlig i den utfylte protokollen.

Indikatorer per egen-skap	Fenomen [ID]	Menneskelige drivere (sikker, mindre sikker kopling)	Forståelse av indikatorens rolle i økosys-temet	Normativ god økologisk tilstand og eksempler på biologisk betydelige avvik fra god tilstand
Primærproduksjon				
Maksimal produktivitet	1) Endring i maksimal produktivitet – grønning og brunning [LF1]	Klimaendringer Arealbruk (beite)	God	I god tilstand er den maksimale primærproduksjonen hovedsakelig begrenset av temperaturen i vekstsesongen, slik den er definert for de lavarktiske bioklimatiske undersonene D og E. Biologisk betydelige endringer kan være relatert til både økende (grønning) og minkende (bruning) produktivitet
Start på vekstsesongen	1) Tidligere start på vekstsesongen [LF2]	Klimaendringer	God	Starten på vekstsesongen i god tilstand er i prinsippet bestemt av klimaregimet i referanseperioden 1961-1990. De aktuelle klimavariablene ikke en romlig oppløsning som gir det mulig å definere snøforhold og temperaturer for de aktuelle vegetasjonsstrata og dermed heller ikke referanseverdier for norsk Lavarkt. Biologisk betydelige endringer kan eks være økende fenologisk mismatch mellom primærproduksjon og sentrale livsstadier hos herbivorer
Plantebiomasse	1) Endring i primærproduksjon og stående biomasse [LF3]	Klimaendringer Arealbruk (beite)	God	I god tilstand er stående biomasse hos karplanter hovedsakelig begrenset av klima i vekstsesongen, slik den definert for de lavarktiske bioklimatiske undersonene D og E. Biologisk betydelige endringer kan eks være forbuskning av åpne tundrahabitater
Biomasse mellom trofiske nivåer				
Plantevekstformer vs. smågnagere	1) Økt biomasse av planter i forhold til smågnagere i næringskjeden [LF4]	Klimaendringer Arealbruk (beite)	Mindre god	I god tilstand har smågnagere og relaterte plantevekstformer synkrone 4-5-års biomassesvingninger som bidrar til å vedlikeholde karakteristiske vegetasjonstyper for lavarktisk tundra (snøleier og krattenger). Biologisk betydelige endringer kan eks være forskyvninger i biomasseforholdet grunnet økt forbuskning
Plantevekstformer vs. drøvtyggere	1) Endring i biomasseforholdet mellom plantevekstformer og drøvtyggere [LF5]	Klimaendringer Forvaltning	God	I god tilstand har drøvtyggere bestandsstørrelser og beiteeffekter som bidrar til å opprettholde plantevekstformer i en tilstand som karakteriserer lavarktisk tundra (undersone D og E). Biologisk betydelige endringer kan være relatert til både over- og underabundans av drøvtyggere
Smågnagere vs. karnivore vertebrater	1) Minkende biomasse av karnivore vertebrater i forhold til smågnagere [LF6]	Klimaendringer	God	I god tilstand har smågnagerne 4-5-års svingninger med en regularitet og amplitude som bidrar til å vedlikeholde levedyktige populasjoner av smågnagerpredatorene. Biologisk betydelige endringer kan eks skyldes fravær av eller dempede smågnagertopper
Drøvtyggere vs. karnivore vertebrater	1) Endring i biomasseforhold mellom drøvtyggere og karnivore vertebrater [LF7]	Klimaendringer Arealbruk (beite)	Mindre god	I god tilstand har drøvtyggere lav forekomst i tundraen på vinterhalvåret. Dette resulterer i lav forekomst av åtsler og dermed dårligere livsgrunnlag for boreale generalistpredatorer (rødrev). Biologisk betydelige endringer kan eks være bo-realisering av næringsnettet

Indikatorer per egen-skap	Fenomen [ID]	Menneskelige drivere (sikker, mindre sikker kopling)	Forståelse av indikatorens rolle i økosys-temet	Normativ god økologisk tilstand og eksempler på biologisk betydelige avvik fra god tilstand
Funksjonelle grupper				
Plantevekstformer	1) Endringer i sammensetning av plantevekstformer i plantesamfunnet [LF8]	Klimaendringer Arealbruk (beite)	God	I god tilstand har tundraens åpne vegetasjonstyper en sammensetning av funksjonelle grupper som karakteristisk for lavarktisk tundra (undersone D og E); jf. kvalitative kriterier angitt av CAVM. Det er imidlertid ikke mulig å sette spesifikke referanseverdier basert på CAVM-skjemaet fordi ulike vekstformers dominans varierer innen disse sonene sirkumpolart, bl.a. basert på biogeografiske, edafiske (berggrunn) og hydrologiske forhold. Biologisk betydelige endringer kan eks være borealisering, el. økende dominans av næringsfattige/mindre spiselige grupper
Herbivore vertebrater	1) Endringer i sammensetning av funksjonelle grupper i samfunnet av herbivore vertebrater [LF9]	Klimaendringer Høsting Forvaltning	God	I god tilstand har lemen viktige særegne funksjoner betinget av at arten utgjør en betydelig andel av totalabundansen i smågnagersamfunnet. Rein er den numerisk og funksjonelt dominerende drøvtyggeren på den lavarktiske tundraen. Biologisk betydelige endringer kan eks være borealisering av næringsnett
Karnivore vertebrater	1) Økende borealisering av samfunnet av karnivore vertebrater [LF10]	Klimaendringer Forvaltning	God	I god tilstand utgjør de arktiske smågnagerpsesialiter (fjellrev, snøugle, fjelljo) en betydelig andel blant vertebrat-karnivorene i økosystemet. Biologisk betydelige endringer kan eks være at økende tilstedeværelse av boreale karnivorer påvirker abundans eller tilstedeværelse av arktiske karnivorer negativt.
Funksjonelt viktige arter og strukturer				
Krattdannende vier	1) Endring i abundans av krattdannende vier i elvedaler [LF11]	Klimaendringer Arealbruk (beite)	God	I god tilstand er høyvokst vier en definerende vekstform for lavarktisk undersone E, særlig på sedimentflater langs vassdrag der de danner distinkte kratt i mosaikker med engvegetasjon. Biologisk betydelige endringer kan være relater både til økende (gjengroing) og minkende (tap av habitat) forekomst av krattdannede vier
Krekling	1) Økende abundans av krekling i åpne vegetasjonstyper [LF12]	Klimaendringer	God	Krekling er nå den dominerende plantearten på lavarktisk tundra i Finnmark med kjemiske egenskaper som reduserer produksjon og artsmangfoldet av planter. Det er uklart hvor langt den nåværende abundansen av krekling er fra god økologisk tilstand. Biologisk betydelige endringer kan eks være redusert artsmangfold av andre tundraarter som følge av en temperaturrevet øking i krekling
Fjellbjørk i skogtundra	1) Sviktende rekruttering etter målerutbrudd [LF13], 2) varig minkende tresatt areal og/eller tre-tetthet [LF14]	Klimaendringer Arealbruk (beite)	Mindre god	I god tilstand er flerstammet fjellbjørk den definerende vekstform i skogtundraen. Den utsettes for periodevis sykliske utbrudd av målere som ikke overskrider skogens evne til gjenvekst. Biologisk betydelige endringer kan eks være sviktende rekruttering etter målerutbrudd som på sikt resulterer i minkende tre-tetthet

Indikatorer per egen-skap	Fenomen [ID]	Menneskelige drivere (sikker, mindre sikker kopling)	Forståelse av indikatorens rolle i økosys-temet	Normativ god økologisk tilstand og eksempler på biologisk betydelige avvik fra god tilstand
Lemen	1) Mindre frekvente og markante lemenår [LF15]	Klimaendringer	God	I god tilstand er regulære lemensyklusler tilstede på den lavarktiske tundraen som bidrar til å gi levedyktige bestander av lemenspesialister (fjellrev og snøugle) og beiteeffekter på snøleievegetasjon slik denne vegetasjonstypen opprettholdes. Biologisk betydelige endringer kan eks være fravær av eller minkende lementopper
Rype	1) Lav og/eller minkende abundans av liryte [LF16]	Klimaendringer Høsting	Mindre god	I god tilstand er liryte og fjellryte de eneste stedegne herbivore fugleartene på den lavarktiske tundraen i vinterhalvåret, hvor de har fluktuerende bestander i samvariasjon med smågnagersykluslene med regelmessige bestandstopper. Biologisk betydelige endringer kan eks være lav eller minkende abundans som ikke lenger opprettholder bestander av arktiske rypespesialister (jaktfalk)
Tamrein abundans	1) Endring i abundans av tamrein [LF17]	Klimaendringer Forvaltning	God	I god tilstand har tamreinen bestandsstørrelser tilpasset beitegrunnlagets bærekapasitet, medvirker til å opprettholde tundravegetasjonens karakteriske (intakte) tilstand, motvirker gjengroing med kratt og skog i tundraen og utgjør den betydeligste økosystemtjenesten for reindriften og den samiske befolkningen. Biologisk betydelige endringer kan relatere seg til både over- og underabundans av rein
Tamrein kalvevekt	1) Lave eller minkende kalvevekter hos tamrein [LF18]	Klimaendringer Forvaltning	God	I god tilstand er kalvevekter hos tamrein i gjennomsnitt og over tid over anbefalte verdier for 'økologisk bærekraftig reindrift'. Biologisk betydelige endringer er hvis slaktevektene er lave over tid eller konsistent minkende.
Tamrein produksjon	1) Lav eller minkende produksjon hos tamrein [LF19]	Klimaendringer Forvaltning	God	I god tilstand er produksjonen hos tamrein på et nivå der den bidrar til å opprettholde bestandene på nivå med gitte forvaltningsmål for reintall og kalvevekter. Biologisk betydelige endringer er hvis produksjonen er lav over tid eller konsistent minkende.
Rødrev kameraindeks	1) Økende andel dager med rødrev på kamerafeller [LF20]	Klimaendringer Forvaltning (uttak) Høsting	God	I god tilstand forekommer en etablert bestand av rødrev bare i de mest produktive områdene (f. eks. kystnært lavland). Biologisk betydelige endringer er øking i indre deler av tundraen, som resulterer i konkurranse for fjellreven i dennes kjernehabitat
Landskapsøkologiske mønstre				
Snøleier	1) Gjengroing av snøleier [LF21]	Klimaendringer	Mindre god	I god tilstand utgjør snøleievegetasjon en vesentlig, men flekkvis fordelt, naturtype i tundraøkosystemer som vedlikeholdes av et langvarig snødekke og beiteeffekter av særlig lemen. Biologisk betydelige endringer er eks. gjengroing med eng eller krattplanter drevet av økende temperatur eller fravær av lementopper
Bioklimatiske under-soner	1) Minkende areal som rent klimatisk befinner seg	Klimaendringer	Mindre god	I god tilstand befinner den lavarktiske tundraen seg rent klimatisk i undersone D og E og krysser kun unntaksvis grensen til nord-boreal sone. Biologisk

Indikatorer per egen-skap	Fenomen [ID]	Menneskelige drivere (sikker, mindre sikker kopling)	Forståelse av indikatorens rolle i økosys-temet	Normativ god økologisk tilstand og eksempler på biologisk betydelige av- vik fra god tilstand
	i de lavarktiske tundraso- nene D og E. [LF22]			betydelige endringer kan eks være tap av hele bioklimatiske soner, eller mink- ende areal som øker tilstedeværelsen av boreale økosystemelementer
Areal inngrepsfrie na- turområder (INON)	1) Minkende areal av inng- repsfri natur [LF23]	Arealbruk (utby- gging)	Mindre god	I god tilstand er lavarktiske tundraområder tilnærmet upåvirket av større tek- niske inngrep. Biologisk betydelige endringer kan eks være at arealtapet er så stort at det har betydning for bevegelsesmønsteret eller produksjonen til beite- dyr, særlig tamrein. Tap av villmarksområder må betraktes som en utvikling mot dårligere tilstand uansett om man har dokumentert biotiske effekter.
Biologisk mangfold				
Fjellrev abundans	1) Fravær av varig øking i fjellrevbestanden til tross for tiltak [LF24]	Klimaendringer Forvaltning (utsetting)	God	I god tilstand har fjellreven levedyktige bestander i alle bioklimatiske soner in- nen det arktiske tundrabiomet. Fravær av varig øking i bestanden til tross for igangsatte tiltak vil være biologisk betydelig uansett årsak
Fjellrev produksjon	1) Lav kullstørrelse hos fjellrev [LF25]	Klimaendringer	God	I god tilstand har fjellreven kullstørrelser som er sterkt betinget av tilgangen på lemen, med store kull (>9) i lemenår som gir en vekstrate i bestanden som i gjennomsnitt ≥0. Biologisk betydelige endringer er lave kullstørrelser som ikke oppretholder bestanden
Fjellrev kameraindeks	1) Fravær av varig øking i andel dager med fjellrev på kamerafeller til tross for tiltak [LF26]	Klimaendringer Forvaltning (utsetting)	Mindre god	I god tilstand har fjellreven levedyktige bestander i alle bioklimatiske soner in- nen det arktiske tundrabiomet. Fravær av varig øking i bestanden til tross for igangsatte tiltak vil være biologisk betydelig uansett årsak
Snøugle abundans	1) Fravær av hekkende snøugler i majoriteten av smågnagerårene knyttet til lav abundans av lemen [LF27]	Klimaendringer	God	I god tilstand er forekomsten av hekkende snøugle i lavarktisk tundra regel- messig og tett koplet til regulære lementoppår. Et fravær av hekkende snøugle- par i lemenår er biologisk betydelig uansett årsak.
Snøugle produksjon	2) Lav og/eller minkende kullstørrelse hos snøugle i smågnagerår [LF28]	Klimaendringer	God	I god tilstand er forekomsten av hekkende snøugle i lavarktisk tundra regel- messig og tett koplet til regulære lementoppår. Sviktende reproduksjon i år der snøugler har gått til hekking er biologisk betydelig uansett årsak.
Fuglesamfunn	1) Minkende abundans og artsrikhet av tundraarter [LF29]	Klimaendringer	Mindre god	I god tilstand er sammensetningen av fuglesamfunnet dominert av en rekke ty- piske (til dels definerende) arter for åpne tundrahabitater. Biologisk betydelige endringer er eks økende dominans av boreale arter på bekostning av arktiske tundraarter
Abiotiske forhold				
Ekstremkuldedager	1) Minkende frekvens av ekstremkuldedager [LF30]	Klimaendringer	God	I fagsystemet er referanseklimaet definert som et klima tilsvarende normalen for 1961-1990. Det innebærer at god tilstand for alle klimaindikatorer er at disse

Indikatorer per egen-skap	Fenomen [ID]	Menneskelige drivere (sikker, mindre sikker kopling)	Forståelse av indikatorens rolle i økosys-temet	Normativ god økologisk tilstand og eksempler på biologisk betydelige avvik fra god tilstand
				ikke avviker fra variasjonen observert i 1961-1990. Biologisk betydelige endringer kan eks være spredning av boreale arter inn i lavarktisk tundra eller økoton som følge av fravær av ekstremkulde.
Vintermildværsdager	1) Økende frekvens av vintermildværsdager [LF31]	Klimaendringer	God	God tilstand: som over. Biologisk betydelige endringer kan eks være reduserte beiteforhold med betydning for produksjon eller overlevelse for rein og smågnagere som følge av økende ising.
Graddager	1) Økende antall graddager [LF34]	Klimaendringer	God	God tilstand: som over. Biologisk betydelige endringer kan eks være at dagens forhold i tundra nærmer seg eller tilsvarer de historiske forhold i økotonen (borealt vekstklima)
Graddagssum vekstsesong	1) Økende graddagssum i vekstsesongen [LF35]	Klimaendringer	God	God tilstand: som over. Biologisk betydelige endringer kan eks være at dagens forhold i tundra nærmer seg eller tilsvarer de historiske forhold i økotonen (borealt vekstklima)
Nedbør	1) Endring i årsnedbør [LF36]	Klimaendringer	Mindre god	God tilstand: som over. Biologisk betydelige endringer kan eks være omfattende vegetasjonstransisjoner gjennom paludifisering
Nedbør vekstsesong	1) Endring i nedbør i vekstsesongen [LF37]	Klimaendringer	Mindre god	God tilstand: som over. Biologisk betydelige endringer kan eks være omfattende vegetasjonstransisjoner gjennom paludifisering
Snødekke varighet	1) Kortere snøsesong [LF38]	Klimaendringer Arealbruk (beite)	God	God tilstand: som over. Biologisk betydelige endringer kan eks være minkende arealer med snøleievegetasjon grunnet kortere snøsesong
Bakkeis	1) Økende forekomst av bakkeis/hard snø i underste lag [LF39]	Klimaendringer	God	God tilstand: I prinsippet som over, men bakkeis har et komplekst (og delvis uavklart) forhold til ulike klimavariabler. Det er derfor per tid ikke mulig etablere modellerte verdier for bakkeis for referanseperioden. Biologisk betydelige endringer kan eks være om økende ising påvirker artsrater mellom lemen og andre smågnagere og/eller amplitude på lementopper.

Tabell 4.2b. Oppsummering av fenomener for høyarktisk tundra. Hvert fenomen er begrunnet utførlig i den utfylte protokollen.

Indikator per egen-skap	Fenomen [ID]	Menneskelige drivere (sikker, mindre sikker kopling)	Forståelse av indikatorens rolle i økosys-temet	Normativ god økologisk tilstand og eksempler på biologisk betydelige avvik fra god tilstand
Primærproduksjon				
Maksimal produktivitet	1) Endring i maksimal produktivitet – grønning og brunng [HF1]	Klimaendringer	God	I god tilstand er den maksimale primærproduksjonen hovedsakelig begrenset av temperaturen i vekstsesongen, slik den er definert for de lavarktiske bioklimatiske undersonene A-C. Biologisk betydelige avvik kan være relatert til både økende (grønning) og minkende (brunng) produktivitet
Start på vekstsesongen	1) Tidligere start på vekstsesongen [HF2]	Klimaendringer	God	Starten på vekstsesongen i god tilstand er i prinsippet bestemt av klimaregimet i referanseperioden 1961-1990. De aktuelle klimavariablene ikke en romlig oppløsning som gir det mulig å definere snøforhold og temperaturer for de aktuelle vegetasjonsstrata og dermed heller ikke referanseverdier for norsk Høyarktis. Biologisk betydelige endringer kan eks være økende fenologisk mismatch mellom primærproduksjon og sentrale livsstadier hos herbivorer
Biomasse mellom trofiske nivåer				
Plantevekstformer vs. svalbardrein	1) Endring i biomasseforholdet mellom plantevekstformer og drøvtyggere [HF3]	Klimaendringer	Mindre god	I god tilstand er abundansen av Svalbardrein på et nivå som korrelerer med fluktasjoner i plantebiomassen og har beiting og gjødslingseffekter som bidrar til å opprettholde en produktiv tundravegetasjon bl.a. ved å stimulere gressvekst og redusere mosebiomasse. Biologiske betydelige endringer kan være relatert til både over- og underabundans av rein, eks omfattende tilstandskifter i vegetasjon grunnet økende reinbestander
Plantevekstformer vs. gjess	1) Økt biomasse av gjess i forhold til planter i næringsnett [HF4]	Klimaendringer Høsting	God	I god tilstand er abundansen av gjess på et nivå som kan ha lokale beiteeffekter på mosetundra – men som ikke bidrar til konsistente endringer i plantebiomassen over tid. Biologiske betydelige endringer kan eks være omfattende tilstandskifter i vegetasjon grunnet økende gåsebestander
Herbivore vertebrater vs. fjellrev	1) Endring i biomasseforholdet mellom herbivore vertebrater og fjellrev [HF5]	Klimaendringer Høsting	Mindre god	I god tilstand forekommer de herbivore vertebrater i bestander som opprettholder levedyktige bestander av fjellrev. Selv om fjellrev-abundansen i en referansetilstand samvarierer med biomassen av herbivorene (og spesielt mengde åtsler av rein) kompliseres de trofiske koplingene/samvariasjonene innen de terrestre næringskjedene av at fjellreven også i stor grad benytter seg av marine ressurser. Biologisk betydelige endringer kan eks være minkende kovarians ml fjellrev og herbivorer
Funksjonelle grupper				
Herbivore vertebrater	1) Endringer i sammen-setning av den	Klimaendringer Høsting Forvaltning	Mindre god	I god tilstand opptre de funksjonelt nokså ulike herbivorer, Svalbardrein, gjess og Svalbardrype uten betydelig ressurskonkurranse. Rein og rype har positiv samvariasjon på grunn av felles påvirkning av variasjonen i vinterklimaet. Biologisk

Indikator per egen-skap	Fenomen [ID]	Menneskelige drivere (sikker, mindre sikker kopling)	Forståelse av indikatorens rolle i økosys-temet	Normativ god økologisk tilstand og eksempler på biologisk betydelige avvik fra god tilstand
	funksjonelle gruppen herbivore vertebrater [HF6]			betydelige endringer kan eks være forskyvninger i mengdeforholdet som resulterer i økende konkurranse ml arter
Funksjonelt viktige arter og strukturer				
Kortnebbgås abundans	1) Endring i abundans av kortnebbgås [HF7]	Klimaendringer Høsting	God	I god tilstand er abundansen av kortnebbgås på et nivå som sikrer levedyktige bestander, men som ikke bidrar til konsistente endringer i plantebiomassen over tid. Biologisk betydelige endringer kan eks være omfattende tilstandskifter i vegetasjon grunnet økende gåsebestander
Hvitkinngås abundans	1) Endring i abundans av hvitkinngås [HF8]	Klimaendringer Høsting	God	I god tilstand er abundansen av hvitkinngås på et nivå som sikrer levedyktige bestander, men som ikke bidrar til konsistente endringer i plantebiomassen over tid. Biologisk betydelige endringer kan eks være omfattende tilstandskifter i vegetasjon grunnet økende gåsebestander
Svalbardrein abundans	1) Endring i abundans av svalbardrein [HF9]	Klimaendringer	Mindre god	I god tilstand opptre Svalbardrein som en funksjonelt viktige herbivor i levedyktige bestander primært regulert naturlig av beitegrunnet (dvs tetthetsavhengighet) og klimavariasjon. Biologisk betydelige endringer kna være relatert til både over (beiteeffekter)- og underabundans (ressursgrunnlag for fjellrev)
Svalbardrein dødelighet	2) Høy eller økende dødelighet hos svalbardrein [HF10]	Klimaendringer	God	I god tilstand skal ikke gjennomsnittlige dødelighetsrater over tid resultere i langsiktig nedgang i bestandene. Denne indikatoren tolkes i sammenheng med produksjonsraten.
Svalbardrein produksjon	1) Lav eller minkende produksjon hos svalbardrein [HF11]	Klimaendringer	Mindre god	I god tilstand skal gjennomsnittlig produksjonsrate i bestandene være stor nok til å unngå nedgang i bestandene. Denne indikatoren må tolkes i relasjon til dødelighetsrater.
Fjellrev abundans	1) Minkende abundans av fjellrev [HF12]	Klimaendringer Høsting	Mindre god	I god tilstand opptre fjellreven i relativt stabile bestander med moderate mellomårs-fluktuasjoner i stor grad bestemt av ressurstilgangen (og indirekte klimavariasjon), mens fangst bare har lokale effekter på demografi/genetikk. Biologisk betydelige endringer er konsistent nedgang over tid koplet til klimatiske drivere eller fangsttrykk
Landskapsøkologiske mønstre				
Bioklimatiske under-soner	1) Minkende areal som rent klimatisk befinner seg i de høyarktiske tundrasonene A, B, og C. [HF13]	Klimaendringer	Mindre god	I god tilstand befinner den høyarktiske tundraen seg rent klimatisk i undersone A-C og krysser kun unntaksvis grensen til lavarktisk undersone D. Biologisk betydelige endringer kan eks være tap av hele bioklimatiske soner, eller minkende areal som øker tilstedeværelsen av lavarktiske økosystemelementer

Indikator per egen-skap	Fenomen [ID]	Menneskelige drivere (sikker, mindre sikker kopling)	Forståelse av indikatorens rolle i økosys-temet	Normativ god økologisk tilstand og eksempler på biologisk betydelige avvik fra god tilstand
Areal inngrepsfrie natur-områder (INON)	1) Minkende areal av inngrepsfri natur [HF14]	Arealbruk (utbygging)	Mindre god	I god økologisk tilstand er høyarktiske tundraområder tilnærmet upåvirket av større tekniske inngrep. Biologisk betydelige endringer kan eks være at arealtapet er så stort at det har betydning for bevegelsesmønsteret eller produksjonen til beitedyr. Tap av villmarksområder må betraktes som en utvikling mot dårligere tilstand uansett om man har dokumentert biotiske effekter.
Biologisk mangfold				
Svalbardrype abundans	1) Minkende abundans av svalbardrype [HF15]	Klimaendringer	Mindre god	I god tilstand opptre svalbardryper i lave, relativt stabile bestander som understøtter bærekraftig jakt. Biologisk betydelige endringer er varig nedgang i bestanden
Abiotiske forhold				
Ekstremkuldedager	1) Minkende frekvens av ekstremkuldedager [HF17]	Klimaendringer	Mindre god	I fagsystemet er referanse klimaet definert som et klima tilsvarende normalen for 1961-1990. Det innebærer at god tilstand for alle klima-indikatorer er at disse ikke avviker fra variasjonen observert i 1961-1990. Biologisk betydelige endringer kan eks være spredning av lavarktiske arter inn i høyarktisk tundra som følge av fravær av ekstremkulde.
Vintermildværsdager	1) Økende frekvens av vintermildværsdager [HF18]	Klimaendringer	God	God tilstand: som over. Biologisk betydelige endringer kan eks være reduserte beiteforhold med betydning for produksjon eller overlevelse for svalbardrein som følge av økende ising.
Julitemperatur	1) Økende julitemperatur [HF20]	Klimaendringer	God	God tilstand: som over. Biologisk betydelige endringer kan eks være at dagens forhold i høyarktisk tundra nærmer seg eller tilsvarer de historiske forhold i lavarktisk tundra (lavarktisk vekstklima)
Nedbør	1) Endring i årsnedbør [HF21]	Klimaendringer	Mindre god	God tilstand: som over. Biologisk betydelige endringer kan eks være omfattende vegetasjonstransisjoner gjennom paludifisering
Permafrost	1) Økende temperatur i permafrostens øverste 15 m [HF22], 2) økende dybde av det aktive laget [HF23]	Klimaendringer	God	I god tilstand har den høyarktiske tundraen sammenhengende permafrost med stabilt lav temperatur. Biologisk betydelige endringer kan eks være minkende jordstabilitet/erosjon, endrede hydrologiske forhold eller andre vegetasjonsforstyrrende prosesser som følge av smeltende permafrost
Snødekke varighet	1) Kortere snøsesong [HF24]	Klimaendringer	God	God tilstand: som over. Biologisk betydelige endringer kan eks være minkende arealer med snøleievegetasjon grunnet kortere snøsesong

4.3.2 Samlet vurdering av økologisk tilstand for hver egenskap

I det følgende beskrives vurderingen av økologisk tilstand for hver av de syv egenskapene for hhv. lavarktisk og høyarktisk tundra. For hver egenskap vurderes avvik fra god økologisk tilstand i tre kategorier: ingen avvik fra god økologisk tilstand, begrensede avvik fra god økologisk tilstand eller betydelige avvik fra god økologisk tilstand. Dette gjøres med utgangspunkt i oversiktsfigurer (**figur 4.1a,b**) som oppsummerer graden av evidens for at de ulike fenomenene har inntruffet (EF) og vurdering av fenomenenes gyldighet (VF). Datadekningen for hver enkelt indikator (**tabell 4.1a,b**) er et viktig hjelpemiddel i vurderingen, fordi det tillater at noe mere vekt tillegges endringer i fenomener som er basert på god datadekning. Prinsippet for vurderingen er illustrert i kap 2.3 (**figur 2.3**), og detaljert i fagpanelprotokollen (vedlegg 1 til denne rapporten).

4.3.2.1 Lavarktisk tundra

Lavarktisk tundra – Primærproduksjon

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **begrensede avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på tre indikatorer (med tre tilhørende fenomener) med god-svært god datadekning (DDi=3-4). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert som *delvis dekkende*, grunnet fravær av bakkeedata på plantefenologi, og begrenset tidsmessig og romlig dekning av bakkeedata på plantebiomasse. Alle vurderte fenomener innen denne egenskapen har god gyldighet med relativt sikre koplinger til menneskelige drivere og god forståelse av deres rolle i det lavarktiske økosystemet (**figur 4.1a**). For to av fenomenene (indikatorer *Plantebiomasse*, og *Start på vekstsesongen*) vurderes EF som lav, dvs lav grad av evidens for endringer og begrenset forventet biologisk betydning av disse endringer. For det tredje (indikator *Maksimal produktivitet*) er det ulik grad av evidens i ulike geografiske regioner. Deler av både tundra og økoton viser ingen signifikante endringer (EF=Ingen), mens andre deler viser høy grad av evidens for grønning eller brunning, sistnevnte primært tilknyttet tresatt areal i økotonen. Det vurderes at den forventede biologiske betydningen av disse endringer for økosystemets tilstand fremdeles er begrenset (EF=Middels).

Lavarktisk tundra - Biomasse mellom trofiske nivåer

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **begrensede avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på fire indikatorer (med fire tilhørende fenomener) med svært god datadekning (DDi=4). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert *dekkende* da indikatorsetter dekker nivåene i de to dominerende næringskjedene hhv planter – smånagere – karnivorer, og planter – drøvtyggere - karnivorer. De vurderte fenomener har middels-god gyldighet (**figur 4.1a**) med relativt sikre koplinger til menneskelige drivere, men til dels en mindre god forståelse av betydningen som endringer i biomasseforhold mellom de trofiske nivåer har for økosystemets tilstand. For de to fenomenene som er tilknyttet næringskjeden planter-smånagere-karnivorer vurderes det at det ikke er evidens for endringer (EF=Ingen) i biomasseforhold. For de to fenomenene tilknyttet næringskjeden planter-drøvtyggere-karnivorer vurderes det derimot at det er noe evidens for endringer i forholdet planter:drøvtyggere grunnet økende plantebiomasse (EF=Lav), og høy grad av evidens for endringer i forholdet drøvtyggere:karnivorer grunnet økende forekomst av rødrev (EF=Middels).

Lavarktisk tundra - Funksjonelle grupper

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **begrensede avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på tre indikatorer (med tre tilhørende fenomener) med god-svært god datadekning (DDi= 3-4). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert som *dekkende* da de tre indikatorer dekker de tre viktigste overordnede funksjonelle grupper Plantevekstformer, Herbivore vertebrater og Karnivore vertebrater. De vurderte fenomener innen denne egenskapen har god gyldighet (**figur 4.1a**). Det skyldes relativt sikre koplinger til menneskelige drivere, og relativt god forståelse av hvordan endringer i mengdeforhold mellom ulike arter/artsgrupper innen den funksjonelle gruppen påvirker tilstanden til egenskapen og økosystemet som helhet. For den funksjonelle gruppen Plantevekstformer fokuseres det på mengdeforholdet mellom mer spiselige/næringsrike og mindre

spiselige/næringsrike vekstformer. For disse er det noe evidens for endringer mot dårligere tilstand (økende dominans av mindre spiselige vekstformer), men endringene er små og foreløpig av uklar biologisk betydning. For de to øvrige funksjonelle grupper, herbivore og karnivore vertebrater, fokuseres det på borealisering i tillegg til innbyrdes konkurranseforhold innen funksjonell gruppe. Mengdeforholdet mellom arktiske og boreale smågnagere (lemen: mus) viser regional evidens for borealisering, men noe tilsvarende observeres ikke blant de store herbivorer. Mengdeforholdet mellom mer arktiske og mer boreale karnivorer viser samlet sett noe evidens for endring (EF=Lav), siden mengden rødrev er økende relativt til fjellrev i kontrollområdene der rødreven ikke skytes ut aktivt som et ledd i forvaltningen av fjellrev. Det påpekes at det nåværende datagrunnlaget mangler boreale rovfugler/åtselsetere som kråke og ravn.

Lavarktisk tundra - Funksjonelt viktige arter og strukturer

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **begrensede avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på ni indikatorer (med ti tilhørende fenomener) med god-svært god datadekning (DDi=3-4). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert som *delvis dekkende*, grunnet fravær av indikatorer på flere funksjonelt viktige arter deriblant bjørkemålere i økotonen, fjellbjørk i tundra, nedbryterinsekter tilknyttet død ved i økotonen og pollinerende insekter. De vurderte fenomener innen denne egenskapen har middels-god gyldighet (**figur 4.1a**). At tre av fenomenene vurderes av middels gyldighet skyldes til dels svært komplekse interaksjoner mellom både naturlige og menneskelige drivere (eks. høsting, klima, og predasjon for indikator *Rype*, eller klima, målerutbrudd, beite, og edafiske forhold for indikator *Fjellbjørk i skogtundra*). Egenskapen funksjonelt viktige arter og strukturer er dermed en av de mest utfordrende å vurdere med tanke på samlet tilstand. To av fenomenene viser høy grad av evidens for endringer, men det knytter seg betydelig usikkerhet til den langsiktige biologiske betydningen av disse endringer for egenskapens eller økosystemets tilstand og EF vurderes derfor til Middels. Fire fenomener viser noe evidens for endringer (indikatorer *Tamrein abundans*, *Lemen*, *Krekling* og *Rødrev*; EF=Lav). For disse har man opparbeidet seg til dels svært god forståelse for betydningen av endringer for det lavarktiske økosystemet, men observerte endringer betraktes fremdeles som begrensede avvik fra god tilstand. Fire fenomener viser ingen tegn til endringer (indikatorer *Krattdannede vier*, *Fjellbjørk rekruttering*, *Tamrein produksjon* og *Tamrein kalvevekt*). Nylige resultater fra skogtundraen i Øst-finnmark (Vindstad et al. 2019) har imidlertid vist en sammenheng mellom tettheten av overlevende bjørk og rekruttering, som tyder på sviktende rekruttering i områder av skogtundraen utsatt for omfattende stammedød etter målerutbrudd.

Lavarktisk tundra - Landskapsøkologiske mønstre

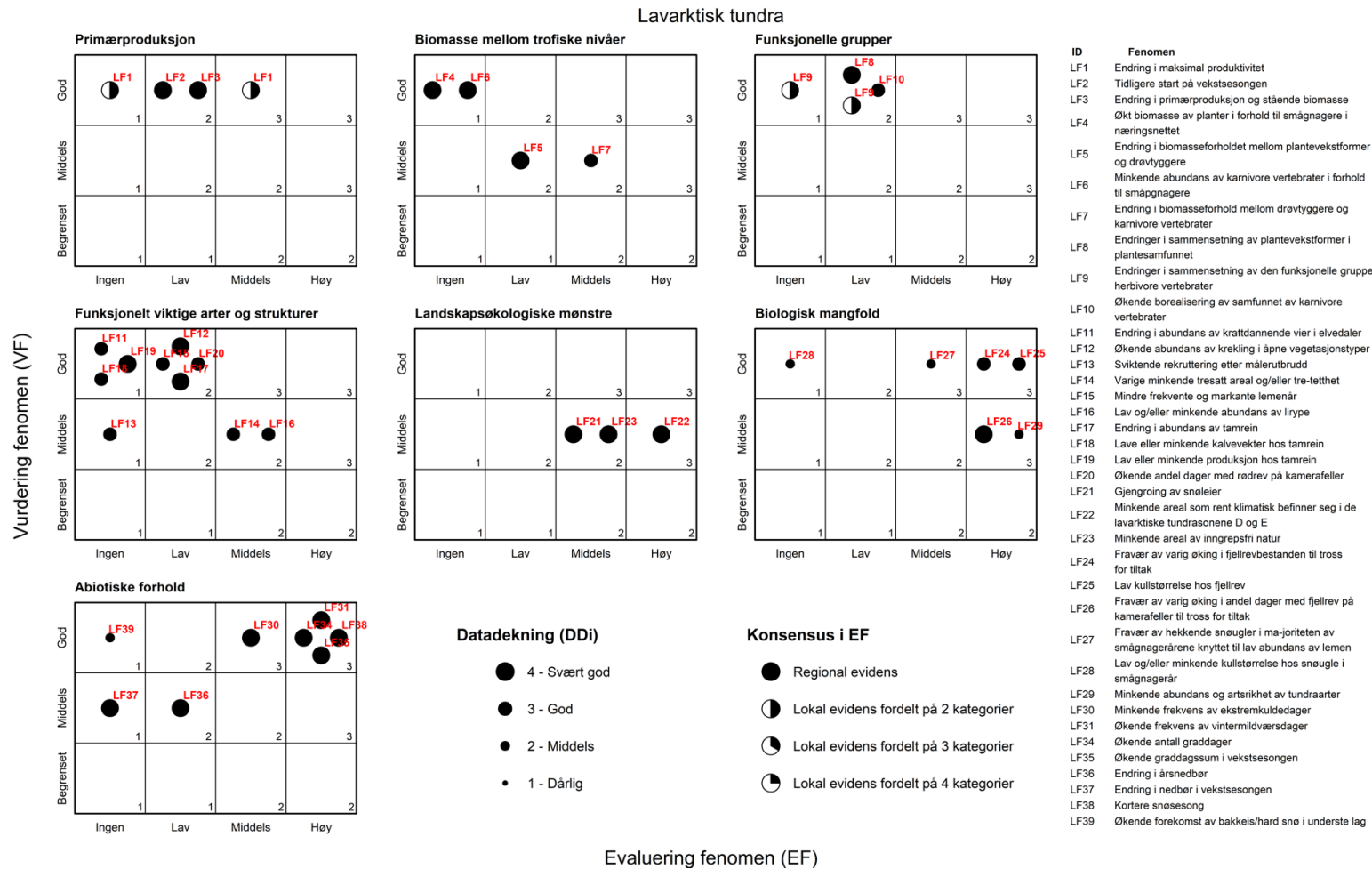
Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på tre indikatorer (med tre tilhørende fenomener) med svært god datadekning (DDi=4). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert som *delvis dekkende*, særlig grunnet fravær av indikatorer på endringer i den regionale utbredelsen av kratt i tundra og klimatiske/empirisk skog- og tregrense. Alle vurderte fenomener innen denne egenskapen har middels gyldighet med sikre koplinger til menneskelige drivere, men mindre god forståelse av deres rolle i det lavarktiske økosystemet (**figur 4.1a**). Alle tre fenomener (indikatorer *Snøleier* og *Bioklimatiske undersoner*) viser høy grad av evidens for endringer, men for to av disse (indikator *Areal inngrepsfri natur*) vurderes EF til middels grunnet en noe lavere forventet biologisk betydning av observerte endringer. Det er økende gjengroing av snøleier, og særlig bioklimatiske undersoner har endret seg betydelig. Under den klimatiske referanseperioden 1961-1990 utgjorde undersone D (sørarktisk tundrasone) omtrent like stort areal som undersone E (arktisk kratt-tundrasone) i lavarktisk tundra, og mesteparten av arealet i østlige deler (Varangerhalvøya). Undersone D er borte etter 2010 og hele den lavarktiske tundraen befinner seg klimatisk sett i undersone E, kratt-tundra. Inngrepsfrie naturområder er styrt av en annen driver (utbygging) enn de øvrige indikatorer, og selv om inngrepsfritt areal (> 1 km fra inngrep) har vært tilnærmet uendret over overvåkingsperioden (~2 % reduksjon i tundra fra 1988 – 2013), så er det allerede før 1988 redusert til rundt 80% av totalarealet i tundra og 70% i økotonen.

Lavarktisk tundra - Biologisk mangfold

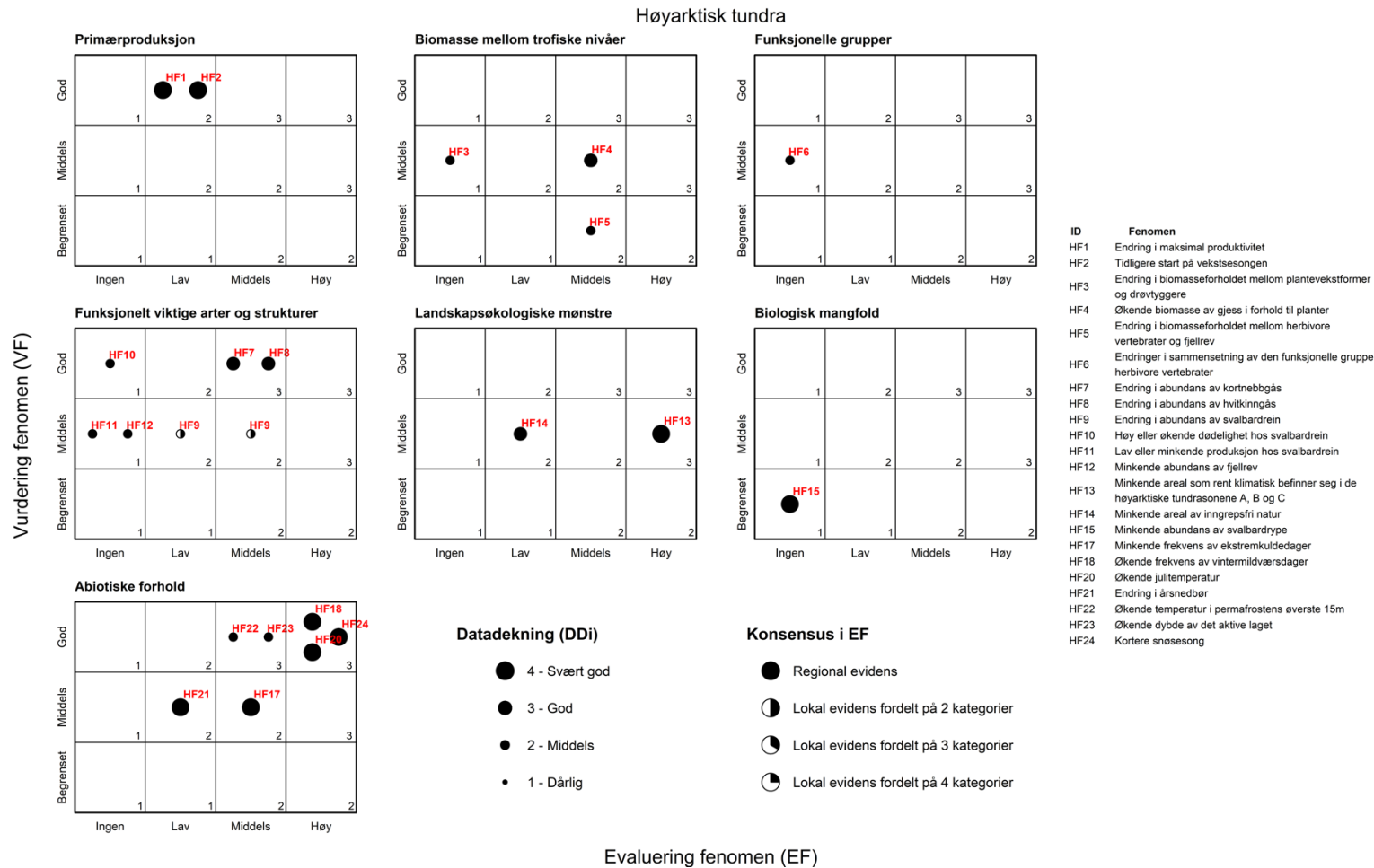
Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på seks indikatorer (med seks tilhørende fenomener). Tre av disse har begrenset datadekning ($DDi=2$; indikatorer *Snøugle abundans*, *Snøugle reproduksjon* og *Fuglesamfunn*), mens de øvrige har god - svært god datadekning ($DDi=3-4$). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert som *begrenset*, særlig grunnet fravær av indikatorer på plante- og insektmangfold. Alle vurderte fenomener innen denne egenskapen har middels-god gyldighet med relativt sikre koplinger til menneskelige drivere og god forståelse av deres rolle i det lavarktiske økosystemet (**figur 4.1a**). De fire fenomener tilknyttet fjellrev og fuglesamfunn viser alle høy grad av evidens for endringer. For fjellrev skyldes det at arten er akutt truet (e.g. svært dårlig tilstand) i lavarktisk tundra, med svært lave tettheter i hele overvåkingsperioden og kullstørrelser som også er lave sett i sammenlikning med andre lemenstyrte bestander i Lav-Arktis. Igangværende forvaltningstiltak har enda ikke hatt påviselig effekt på disse bestandsmålene. Fuglesamfunn viser en utvikling mot lavere artsrikhet og økende dominans av arter tilknyttet kratt fremfor åpne tundrahabitater. Fenomenene tilknyttet snøugle tillegges i den samlede vurderingen av egenskapen mindre vekt enn de øvrige fordi de er basert på et begrenset datagrunnlag. Snøugle har midlertid kun blitt påvist hekkende i 1/3 av smågnagerårene i tidsserien på 14 år, noe som samsvarer med forventningen om at denne indikatoren er i samme dårlige tilstand som fjellrevindikatorene.

Lavarktisk tundra - Abiotiske forhold

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på åtte indikatorer (med åtte tilhørende fenomener). Syv av disse har svært god datadekning ($DDi=4$), mens en har middels ($DDi=2$; indikator *Bakkeis*). På tross av et omfattende indikatorsett, vurderes egenskapens samlede indikatordekning som *delvis dekkende*. Særlig begrenses vurderingen av egenskapen *Abiotiske forhold* av fraværet av regionalt dekkende indikatorer på snø-egenskaper, inkl. snøstruktur og regional forekomst av bakkeis og/eller regn-på-snø-hendelser. Overflatens reflekterende egenskaper (albedo) på sein vinteren/våren er også en sentral abiotisk indikator som ikke er inkludert i piloten. Alle vurderte fenomener innen denne egenskapen har middels-god gyldighet med sikre koplinger til menneskelige drivere og relativt god forståelse av deres rolle i det lavarktiske økosystemet (**figur 4.1a**). Dårligst forståelse knytter seg til fenomener relatert til endringer i nedbørsforhold. Alle fenomener tilknyttet temperaturforhold og snødekke viser høy evidens for endringer med stor forventet biologisk betydning av de observerte endringer ($EF=Høy$). Unntaket er ekstremkuldedager, som er en indikator som kun har relevans for økotonen ($EF=Middels$). Dette er til dels svært dramatiske endringer som er entydige over hele den lavarktiske tundraen og økotonen, og flere av de evaluerte indikatorer nærmer seg eller har overskredet den historisk observerte variasjonen i den klimatiske referanseperioden. Eksempelvis har lavarktisk tundra i dag nesten 3 ukers kortere snøsesong (indikator *Snødekke*), og om lag 30 flere graddager (indikator *Graddager*), sammenliknet med den klimatiske referanseperioden. Begge indikatorene *Graddager* og *Graddagssum vekstsesong* for lavarktisk tundra er tilsvarende eller høyere enn observert verdi for skogtundra-økotonen under den klimatiske referanseperioden. Med andre ord har dagens lavarktiske tundra et vekstklima, rent temperaturmessig, som tilsvarer referansetilstanden for skogtundra. Fenomener relatert til nedbør viser noe evidens for endring ($EF=Lav$; indikator *Årsnedbør*) eller ingen evidens for endring ($EF=Ingen$; indikator *Nedbør vekstsesong*), mens fenomenet tilknyttet lokal forekomst av bakkeis viser ingen evidens for endring. For lavarktisk tundra vurderes det at fenomener relatert til temperatur og snødekke er av større betydning for økosystemets økologiske tilstand, enn fenomener relatert til nedbør. I tillegg er gyldigheten av disse fenomener vurdert høyere ($VF=God$), enn nedbørsrelatert fenomener, og har betydelig bedre datadekning enn fenomenet tilknyttet bakkeis, og disse bør derfor være toneangivende i den samlede vurdering av egenskapen.



Figur 4.1a. Samlet vurdering av alle fenomener innen hver egenskap, for lavartisk tundra. Hvert symbol representerer resultatet fra vurderingen av et fenomen. Symbolenes plassering i matrisen er bestemt av grad av evidens for at fenomenet er inntruffet (EF) og vurdering av fenomenets gyldighet (VF). Størrelsen på symbolene reflekterer datadekning for den indikator som fenomenet er tilhørende. Dersom hele datagrunnlaget viser samme grad av evidens for endringer brukes hele symboler (regional evidens for endring). Dersom deler av datagrunnlaget viser motstridende grad av endring (eks mellom geografiske regioner), deles symbolet på ulike verdier av EF (lokal evidens for endring). Dette vises med delte symboler.



Figur 4.1b. Samlet vurdering av alle fenomener innen hver egenskap, for høyarktisk tundra. Hvert symbol representerer resultatet fra vurderingen av et fenomen. Symbolenes plassering i matrisen er bestemt av grad av evidens for at fenomenet er inntruffet (EF) og vurdering av fenomenets gyldighet (VF). Størrelsen på symbolene reflekterer datadekning for den indikator som fenomenet er tilhørende. Dersom hele datagrunnlaget viser samme grad av evidens for endringer brukes hele symboler (regional evidens for endring). Dersom deler av datagrunnlaget viser motstridende grad av endring (eks mellom geografiske regioner), deles symbolet på ulike verdier av EF (lokal evidens for endring). Dette vises med delte symboler.

4.3.2.2 Høyarktisk tundra

Høyarktisk tundra - Primærproduksjon

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **begrensede avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på to indikatorer (med to tilhørende fenomener) med svært god datadekning (DDi=4). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert som *begrenset*, grunnet fravær av bakkeedata. Begge vurderte fenomener innen denne egenskapen har god gyldighet med relativt sikre koplinger til menneskelige drivere og god forståelse av deres rolle i det lavarktiske økosystemet (**figur 4.1b**). For begge fenomener (indikatorer *Plantebiomasse*, og *Start på vekstsesongen*) vurderes EF som lav, dvs lav grad av evidens for endringer og begrenset forventet biologisk betydning av disse endringer. Det vurderes at den forventede biologiske betydningen av disse endringer for økosystemets tilstand fremdeles er begrenset (EF=Middels).

Høyarktisk tundra - Biomasse mellom trofiske nivåer

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **begrensede avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på tre indikatorer (med tre tilhørende fenomener) med middels-god datadekning (DDi=2-3). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert *dekkende* da indikatorsettet i utgangspunktet dekker nivåene i de to dominerende næringskjedene hhv planter-rein-fjellrev (som primært åtselseter) og planter-gås-fjellrev (som predator). Indikatoren for herbivor-predator-nivået inkluderes også Svalbardrype, mens forholdet mellom planter-Svalbardrype ikke er dekket. Der er imidlertid utfordringer tilknyttet datagrunnlaget for plante-nivået, da dette kun kan representeres ved satellittbasert planteproduktivitet (se egenskap Primærproduksjon), og det er således store muligheter for å forbedre vurderingsgrunnlaget også for denne egenskapen ved på sikt å inkludere bakkeedata på planteproduktivitet/biomasse.

Høyarktisk tundra - Funksjonelle grupper

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **ingen avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er imidlertid gjort basert på bare en indikator (med ett tilhørende fenomen) med middels datadekning (DDi=2; indikator *Herbivore vertebrater*). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert som *Begrenset*, særlig grunnet fravær av en indikator på Plantevekstformer. Den funksjonelle gruppen Karnivore vertebrater, som er viktig i lavarktisk tundra, utgjøres i all hovedsak av fjellrev på Svalbard, i tillegg til isbjørn som kan være en betydelig predator i gåsekolonier. Det er dermed begrensede relevante interaksjoner innen karnivorer og mindre behov for en egen indikator på denne funksjonelle gruppen. Fenomenet tilknyttet herbivore vertebrater har middels gyldighet, dels grunnet noe usikre koplinger til menneskelige drivere (særlig indikator *Svalbardrype*), dels grunnet en mindre god forståelse av hvordan endringer i mengdeforhold mellom ulike herbivorer innen den funksjonelle gruppen påvirker tilstanden til egenskapen og økosystemet som helhet. Endringer i artsratioer vurderes for Svalbardrype:gjess og for Svalbardrype:rein. Ingen av disse viser evidens for endringer, på tross av til dels store endringer i abundanser av enkeltarter (**figur 4.1b**). I tidsperioden der det fins data på samtlige arter (2000-i dag) har bestanden av gjess, Svalbardrype og Svalbardrein (Adventdalen) rundt doblet seg, mens bestanden av Svalbardrein på Brøggerhalvøya har vært stabil eller svakt minkende. På bakgrunn av dette er det ikke evidens for endringer i artssammensetningen innen denne funksjonelle gruppen.

Høyarktisk tundra - Funksjonelt viktige arter og strukturer

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **begrensede avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på seks indikatorer (med seks tilhørende fenomener) med middels-god datadekning (DDi=2-3). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert som *Delvis dekkende*, grunnet manglende indikatorer på produksjon hos funksjonelt viktige arter som fjellrev, og gjess. Fjellrev er vektor for rabies og hovedvert for dverg-bendelorm (en helsefarlig zoonose) og en indikator på fjellrev-zoonoser ville vært et viktig supplement til det nåværende indikatorsettet for denne egenskapen. De vurderte fenomener innen denne egenskapen har middels-god gyldighet, best for indikatorene *Kortnebbgås*, *Hvitkinngås*

og *Svalbardrein dødelighet* (**figur 4.1b**). For disse finnes det både sikre koplinger til menneskelige drivere og en god forståelse for indikatorens rolle i det høyarktiske økosystemet. Fenomener tilknyttet begge gåsearter viser høy grad av evidens for endringer i form av bestandsøking. Kortnebbgås er en av de få biotiske indikatorer som er understøttet av data som overlapper med den klimatiske referanseperioden. Gjennomsnittlig bestanden i dag er nesten fire ganger høyere enn gjennomsnittlig bestand under referanseperioden og blir kraftig regulert gjennom adaptiv forvaltning. For hvitkinngås er tidsseriene kortere, men også denne arten har tredoblet bestandsstørrelsen siden 1990. Studier av forekomsten av beiteskader forårsaket av gås ('grubbing') i høyarktisk tundra på Svalbard (Pedersen et al. 2013a, Pedersen et al. 2013b) har vist økende forekomst og utbredelse av skader, men det vurderes at den biologiske betydningen for egenskapens og økosystemets tilstand fremdeles er begrenset (EF=Middels). Fenomenene tilknyttet Svalbardrein viser sterkt økende bestand i Adventdalen/Sassendalen (EF=Middels), men noe minkende bestand på Brøggerhalvøya (EF=Lav), og ingen evidens for endringer i hverken produksjon eller dødelighet (EF=Ingen). Der er ingen evidens for endringer i ynglebestanden av fjellrev (indikator *Fjellrev abundans*).

Høyarktisk tundra - Landskapsøkologiske mønstre

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er imidlertid gjort basert på bare to indikatorer (med to tilhørende fenomener) med god-svært god datadekning (DDi=3-4). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert som *Delvis dekkende*, særlig grunnet fravær av indikatorer på endringer i vegetert versus bart areal/erosjon særlig med fokus på erosjon og vegetasjonsskader. Begge vurderte fenomener innen denne egenskapen har middels gyldighet med sikre koplinger til menneskelige drivere, men en mindre god forståelse av deres rolle i det lavarktiske økosystemet (**figur 4.1b**). Fenomenet tilknyttet indikator *Bioklimatiske undersoner* viser høy grad av evidens for endringer med stor forventet biologisk betydning av observerte endringer. Det er utfordringer tilknyttet de underliggende modellerte klimadata (se egenskapen Abiotiske forhold under). Disse utfordringer er primært knyttet til absolutte verdier for temperatur og dermed de absolutte grenser mellom bioklimatiske undersoner. De relative endringer forventes å være realistiske, og indikerer at mesteparten av den høyarktiske tundra, rent klimatisk, har flyttet seg tilnærmet en hel bioklimatisk undersone relativt til den klimatiske referanseperioden. Inngrepsfrie naturområder er styrt av en annen driver (utbygging) enn de øvrige indikatorer, og viser en liten reduksjon i areal relativt til en intakt tilstand uten inngrep. Arealet er imidlertid uendret over overvåkingsperioden (1990-2015). Endringer i dette fenomenet vurderes som mindre relevant for god økologisk tilstand i høyarktisk tundra, og vurderingen basert på *Bioklimatiske undersoner* bør derfor være toneangivende for den samlede vurdering av egenskapen.

Høyarktisk tundra - Biologisk mangfold

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **ingen avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er imidlertid gjort basert på bare en indikator (med ett tilhørende fenomen) med svært god datadekning (DDi=4; indikator *Svalbardrype abundans*). Egenskapens samlede indikatordekning er vurdert som *Begrenset*. Særlig begrenses vurderingen av egenskapen *Biologisk mangfold* av fraværet av indikatorer på plantemangfold, men vurderingen av egenskapen ville også kunne styrkes ved å inkludere eks snøspurv og abundanser/artssammensetning av vadere. Fenomenet tilknyttet rype vurderes av begrenset gyldighet (VF=Begrenset; **figur 4.1b**). Dette skyldes både mindre sikre koplinger til menneskelige og naturlige drivere og en mindre god forståelse av indikatorens rolle i det høyarktiske økosystemet.

Høyarktisk tundra - Abiotiske forhold

Basert på pilotens indikatorsett vurderes det at egenskapen samlet sett viser **betydelige avvik fra god økologisk tilstand**. Denne vurderingen er gjort basert på seks indikatorer (med syv tilhørende fenomener). Fem av disse har svært god datadekning (DDi=4), mens to har middels (DDi=2; indikator *Permafrost*). På tross av et omfattende indikatorsett, vurderes egenskapens samlede indikatordekning som *Begrenset*. Særlig begrenses vurderingen av egenskapen *Abiotiske forhold* av fraværet av regionalt dekkende indikatorer på snø-egenskaper, inkl. snøstruktur og regional forekomst av bakkeis og/eller regn-på-snø-hendelser. Overflatens reflekterende

egenskaper (albedo) på sein vinteren/våren er også en sentral abiotisk indikator som ikke er inkludert i piloten. I tillegg er det begrensninger tilknyttet de modellerte griddede klimadata for Svalbard. De er beheftet med en til dels betydelig bias sammenliknet med stasjonsdata (Vikhamar-Schuler et al. 2019). For sommertemperatur er de modellerte data så mye som 2.4-2.6°C kaldere enn målte stasjonsdata for Svalbard Lufthavn (1.6-2.0°C kaldere i Ny Ålesund; (Vikhamar-Schuler et al. 2019; tabell 3.5)). Dette avviket er med andre ord i samme størrelsesorden som en hel bioklimatisk undersone (tabell. 2.1). For nedbør er de modellerte verdier så mye som 2-3 ganger høyere enn målte stasjonsverdier og denne bias er tilstede ved alle målestasjoner og i alle sesonger (Vikhamar-Schuler et al. 2019; tabell 4.5). De lineære trender i temperatur er imidlertid i god overensstemmelse mellom de modellerte klimadata og stasjonsdata, noe som betyr at de modellerte data viser realistiske endringsrater over tid. For nedbør er det til dels uoverensstemmelser også i lineære trender mellom stasjonsdata og modellerte klimadata. Alle vurderte fenomener innen denne egenskapen har middels-god gyldighet med sikre koplinger til menneskelige drivere og relativt god forståelse av deres rolle i det lavarktiske økosystemet (**figur 4.1b**). Dårligst forståelse knytter seg til fenomener relatert til endringer i nedbørsforhold og ekstremkulde. Alle fenomener tilknyttet temperaturforhold og snødekke viser høy evidens for endringer med til dels stor forventet biologisk betydning av de observerte endringer (EF=Høy, EF=Middels for indikator *Ekstremkulde*). Dette er til dels svært dramatiske endringer som er en tydelige over hele den høyarktiske tundraen, og samtlige evaluerte indikatorer nærmer seg eller har overskredet den historisk observerte variasjonen i den klimatiske referanseperioden. Etter 1991 har eksempelvis julitemperaturen økt i størrelsesorden 0.5°C/ti-år (Appendiks 2, indikator *Julitemperatur*), og er i dag omtrent 1.5°C høyere enn i den klimatiske referanseperioden. Igjen tilsvarer det at den høyarktisk tundraen rent klimatisk har flyttet seg nesten en hel bioklimatisk undersone relativt til referanseperioden. Fenomener relatert til nedbør viser noe evidens for endring (EF=Lav; indikator *Årsnedbør*). For høyarktisk tundra vurderes det at fenomener relatert til temperatur og snødekke er av større betydning for økosystemets økologiske tilstand, enn fenomener relatert til nedbør. I tillegg er gyldigheten av disse fenomener vurdert høyere (VF=God), enn nedbørsrelatert fenomener, og bør derfor være toneangivende i den samlede vurdering av egenskapen.

4.3.3 Samlet vurdering av økologisk tilstand for økosystemet som helhet

På grunnlag av den samlede vurderingen konkluderer fagpanelet at norsk arktisk tundra – både i Høy-Arktis og Lav-Arktis – viser begrensede avvik i økosystemenes struktur og funksjon og fremdeles er i en god tilstand. De begrensede endringene som har inntrådt er i stor grad som forventet fra oppvarmingen av nordområdene. Særlig lavarktisk tundra, som har den beste indikatordekningen, viser på flere områder en økende boreal påvirkning av økosystemet. Det at endringene foreløpig er begrensede - til tross for at klimaet er betydelig endret - indikerer at økosystemet responderer med en tidsforsinkelse og at større latente endringer allerede kan være under utvikling.

Arktiske tundraøkosystem er fundamentalt betinget av de bioklimatiske forhold som utgjør grunnlaget for arter, samfunn og næringsnett, samt de viktigste økologiske funksjonene disse biotiske enhetene har innen de definerte undersonene av det terrestre Arktis. Klimaendringer vil derfor være den mest fundamentale driveren av tilstandsendringer i arktiske tundraøkosystemer. Dette er i tråd med alle fenomenene som fagpanelet har formulert og vurdert på indikator- og egenskapsnivå. Det er også en forventning at klimaoppvarmingen vil føre til tilstandsendringer som gjelder hele økosystemet - dvs. overganger (transisjoner) på økosystemnivå. Ifølge klimaprognosene forventes det lavarktiske økosystemet i Finnmark innen dette århundret å ha et klima som betinger tilstandsendringer mot boreale og etterhvert nemorale økosystemer. For det høyarktiske økosystemet på Svalbard forventes et klima som i første omgang betinger et lavarktisk økosystem og muligens senere et borealt økosystem. Hvis slike helhetlige økosystemtransisjoner (overganger) realiseres – f. eks. ved at økosystemet har blitt endret i en slik grad at dets egenskaper har større likheter med et økosystem som kjennetegner en annen bioklimatisk sone - kan hele økosystemet bedømmes til å være i en dårlig tilstand. Grad av likhet med andre kjente alternative tilstander (f. eks. tundra vs et borealt økosystem) kan vurderes ut fra hvilken grad

settet av fenomener på indikator og egenskapsnivå har inntrådt med klare marginer og tilstrekkelig evidens. Det er også sannsynlig at noen tilstandsskifter vil kunne avvike fra det forventede bl.a. på grunn av at fremtidig klima ikke nødvendigvis har historiske paralleller (også kallet klimaanaloger), ekstremhendelser eller overraskende synergieffekter av flere samtidige drivere (f. eks. klimaendringer og høsting). I begge tilfeller kan betydelige og gjennomgripende avvik i hele settet av indikatorer/egenskaper være grunnlag for å bedømme at hele økosystemet er i dårlig tilstand.

Fagpanelts vurdering av alle egenskaper samlet fremgår av **tabell 4.3a,b**. Den egenskapen som fagpanelet mest entydig har vurdert til å ha et *Betydelige avvik* (og dermed dårlig økologisk tilstand) i både Lav-Arktis og Høy-Arktis, er 'Abiotiske forhold'. Dette er en egenskap som er avledet fra klimadata og følgelig også indikerer den betydelige klimaoppvarmingen som har skjedd i Arktis siden referanseperioden og som nå er den viktigste driveren for økosystemendringer. Alle de temperaturrelaterte indikatorene viser *betydelig avvik* som på sikt kan forventes å ha konsekvenser for arters livsbetingelser og økosystemets funksjoner i alle sesonger og både i Lav-Arktis og Høy-Arktis. Eksempelvis har lavarktisk tundra nå nesten 3 ukers kortere snøsesong enn under den klimatiske referanseperioden. Videre viser indikatorene på 'Graddager' og 'Graddagssum vekstsesong', at lavarktisk tundra i dag (i gjennomsnitt) har et vekstklimate som er tilsvarende eller varmere enn det som ble observert (i gjennomsnitt) for økotonen under den klimatiske referanseperioden. En tett relatert indikator som har den mest entydige tolkningen i forhold til forventet økosystemtilstand er gjennomsnittstemperaturen i juli. Denne sentrale bioklimaindikatoren – som er tilordnet egenskapen 'Landskapsøkologiske mønstre' – er den tilstandsvariabelen som gir best prediksjon for nordlige terrestre biomers og økosystemers struktur og funksjon. Indikatoren har nå et betydelig avvik i både Lav-Arktis og Høy-Arktis. For Lav-Arktis er en hel bioklimatisk undersone forsvunnet og store arealer som i referanseperioden var bioklimatisk definert som tundra, er nå rent klimatisk borealt. Like store endringer har inntrådt i Høy-Arktis, men metodiske utfordringer tilknyttet de underliggende modellerte klimadata gjør at det i dag ikke er mulig å estimere endringene i form av realistisk klimatisk arealtap for høyarktiske undersoner.

En rekke biotiske fenomener og tilstandsskifter i økosystemets egenskaper kan forventes ut fra inntrådte endringene i bioklimatisk sonasjon. For egenskapen primærproduksjon forventes en økning som finner en viss støtte i de estimerte endringsratene i indikatorene som tilordnet denne egenskapen. Tundraen både i Høy-Arktis og Lav-Arktis viser en signifikant tendens til grønning, men foreløpig bare i mindre deler av det totale arealet. For Lav-Arktis understøttes grønnings-tendensene basert på fjernmålingsdata av bakkemålinger og estimerte biomasseendringer i tundravegetasjonen. Totalt sett er endringen i primærproduksjon vurdert som begrenset både i Lav-Arktis og i Høy-Arktis. Dette kan forklares ut fra den tidsforsinkelsen mellom abiotisk endring og vegetasjonens respons som har blitt påvist gjennom eksperimentelle oppvarmingsforsøk (ITEX; Elmendorf et al. 2012, Elmendorf et al. 2015). Simultane motvirkende endringer i vinterklimaet kan også ha medvirket til dempe økningen i primærproduksjonen, bl.a. gjennom stedvis bruningstendenser som indikatoren viser både i Høy-Arktis og Lav-Arktis. Den bakkemålte vegetasjonsindikatoren som viser størst endring er snøleier (middels avvik på grunn av gjengroing med dvergbusker) i lavarktisk tundra som er forventet å være særlig sensitiv for endringer i flere abiotiske forhold.

Primærproduksjon/plantebiomasse inngår direkte i eller har indirekte innflytelse på flere av de andre biotiske egenskapene i fagsystemet – bl.a. de som er basert på andre plantebaserte indikatorer (f. eks. i egenskapen «Funksjonelle arter og strukturer») eller for rent aritmetisk i sammensatte indikatorer (f. eks. egenskaper som «Biomasseforhold mellom trofiske nivåer» og «Funksjonelle grupper»). Endringer i plantebiomassen/primærproduksjonen vil derfor ligge til grunn for tilsvarende endringer i flere andre egenskaper i økosystemet. Endret primærproduksjon kan også forventes å ha kjedeeffekter i økosystemet til andre indikatorer og egenskaper hvor ikke plantemetrikk inngår direkte i regnskapet (CAFF 2013, Post et al. 2009). Slike kjedeeffekter forventes å bidra til en økende borealisering av den lavarktiske tundraen, mens høyarktisk tundra forventes i første omgang få egenskaper som kjennetegner en lavarktisk tilstand. Begge deler vil være transisjoner mot dårligere tilstander.

Fagpanelets analyser og vurderinger viser at de aller fleste av disse biotiske egenskapene viser *begrensede avvik*. Noen av disse avvikene er i samsvar med forventningen om at begrensede endringer i primærproduksjonen (som følge av klimaendringene i vekstsesongen) vil føre til begrensede endringer i andre relaterte egenskaper (kjedeeffekter) i økosystemet. Andre begrensede avvik kan imidlertid tolkes som er resultat av endringen i andre primære drivere enn temperatur i vekstsesongen og øket primærproduksjon – f. eks. endringer i vinterklima (snøforhold) og andre menneskelige drivere (høsting og forvaltningspraksis). Når det gjelder menneskelige drivere som vurderes å ligge til grunn for noen av begrensede avvik gjelder dette særlig forvaltning av rovdyr og store (drøvtyggere) i Lav-Arktis og mellomstore herbivorer (gjess) i Høy-Arktis. Det eneste unntaket fra bedømmelsen «ingen eller begrensede avvik» i biotiske egenskaper (dvs. alle egenskaper bortsett fra «Abiotiske forhold» og «Landskapsøkologiske mønstre»), er «Biologisk mangfold» for lavarktisk tundra. Denne egenskap er her vurdert å ha et *betydelig avvik* som indikerer dårlig tilstand. Vurderingen er delvis preget av tilstanden til enkeltarter (fjellrev, snøugle) eller et enkelt samfunn (fuglesamfunn). Disse indikatorene er ikke representative for det biologiske mangfoldet i økosystemet som helhet, noe som understreker viktigheten av å gi denne egenskapen en bedre indikatordekning. Men samtidig representerer de eksisterende indikatorene typiske arktiske arter høyt i næringskjedene (et karnivort pattedyr og insektivore fugler) som kan være sensitive for endringer - særlig i grensen av sitt utbredelsesområde, og derfor være tidlige varslere om pågående og fremtidige endringer.

Tabell 4.3a. Samlet vurdering av avvik fra god økologisk tilstand for alle egenskaper for lavarktisk tundra basert på indikatorsettet inkludert i pilottesten. Kolonnen Indikatordekning viser vurderingen av hvorvidt utvalget av indikatorer betraktes som dekkende, delvis dekkende, eller begrenset for vurdering av egenskapen (hentet fra tabell 4.1a).

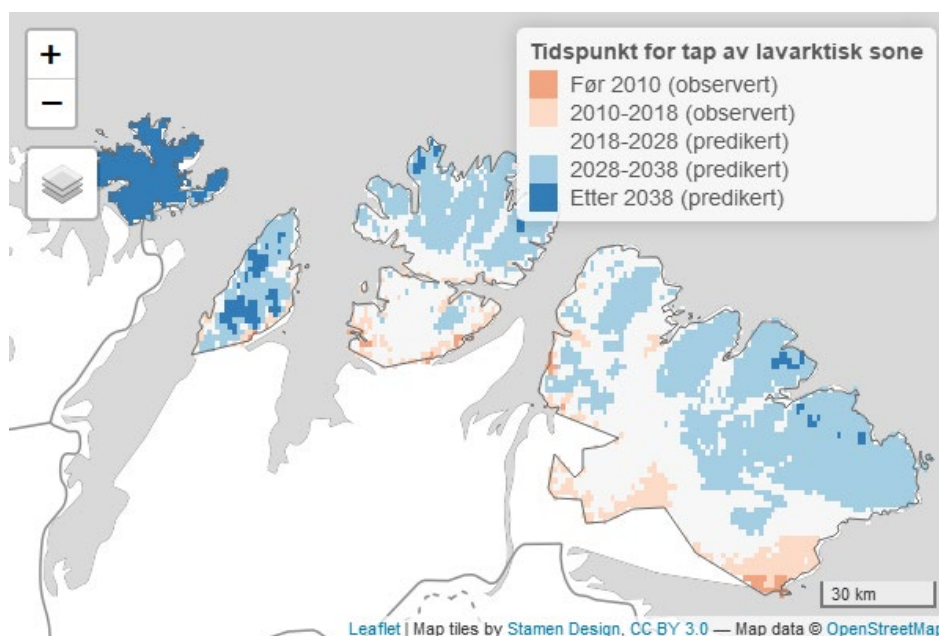
Egenskap	Lavarktisk tundra	
	Samlet vurdering	Indikatordekning
Primærproduksjon	Begrensede avvik	Delvis dekkende
Biomasse mellom trofiske nivåer	Begrensede avvik	Dekkende
Funksjonelle grupper	Begrensede avvik	Dekkende
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Begrensede avvik	Delvis dekkende
Landskapsøkologiske mønstre	Betydelige avvik	Delvis dekkende
Biologisk mangfold	Betydelige avvik	Begrenset
Abiotiske forhold	Betydelige avvik	Delvis dekkende

Tabell 4.3b. Samlet vurdering av avvik fra god økologisk tilstand for alle egenskaper for høyarktisk tundra basert på indikatorsettet inkludert i pilottesten. Kolonnen Indikatordekning viser vurderingen av hvorvidt utvalget av indikatorer betraktes som dekkende, delvis dekkende, eller begrenset for vurdering av egenskapen (hentet fra tabell 4.1b).

Egenskap	Høyarktisk tundra	
	Samlet vurdering	Indikatordekning
Primærproduksjon	Begrensede avvik	Begrenset
Biomasse mellom trofiske nivåer	Begrensede avvik	Dekkende
Funksjonelle grupper	Ingen avvik	Begrenset
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Begrensede avvik	Delvis dekkende
Landskapsøkologiske mønstre	Betydelige avvik	Delvis dekkende
Biologisk mangfold	Ingen avvik	Begrenset
Abiotiske forhold	Betydelige avvik	Delvis dekkende

4.3.4 Vurdering av fremtidig utvikling

Oppvarming av Arktis er den viktigste driveren for tilstandsendringer i begge deløkosystemene. Oppvarmingen har vært betydelig siden den klimatiske referanseperioden 1961-1990, og stort sett i samsvar med prognosene, eller noe høyere enn disse (Hanssen-Bauer et al. 2019). Mange av avvikene i økosystemenes egenskaper og deres underliggende indikatorer som her er vurdert biologisk betydelige, kan tilskrives denne driveren. De estimerte endringsratene er til dels store. For indikatoren *Bioklimatiske undersoner* (egenskapen Landskapsøkologiske mønstre) vil eksempelvis den observerte endringsraten - hvis den opprettholdes - implisere en halvering av arealet i Fastlands-Norge som har lavarktisk bioklima i løpet av de kommende ca 10 år, og et tilnærmet komplett tap i løpet av ca 20 år (**figur 4.2**). Prognosene fra klimamodeller (Hanssen-Bauer et al. 2019, Hanssen-Bauer et al. 2015) antyder at dette er relativt konservative projeksjoner. Slike projiserte skifter i bioklimatisk sonering innen den norske delen av det terrestre Arktis, vil innebære latente (potensielle) tilstandsskifter fra høyarktiske til lavarktiske økosystemer på Svalbard - og fra lavarktiske til boreale økosystemer i løpet av noen få tiår. Hva som vil bli realiserte tilstandsendringene i økosystemene over slike tidshorisonter er det ikke mulig å predikere med rimelig grad av sikkerhet (Planque 2016). Tundraøkosystemer er kjent for å ha betydelige tidsforsinkelser mellom driver og respons for noen egenskaper, mens andre egenskaper kan ha raske ikke-lineære responser og biotiske prosessrelasjoner (bl.a. ukjente terskeeffekter og interaksjoner) som kan gi overraskende effekter (Ims et al. 2013). For lavarktisk tundra er imidlertid noen av indikatorene for biologisk mangfold allerede i såpass dårlig tilstand at dette gir stor sannsynlighet for tap av enkelte arktiske arter eller funksjoner i relativt nær fremtid.



Figur 4.2. En illustrasjon av observert og predikert tidspunkt for tap av areal som rent klimatisk befinner seg i de lavarktiske undersoner basert på indikatoren *Bioklimatiske undersoner*. Et areal regnes som ute av de arktiske undersoner når gjennomsnittlig julitemperatur passerer 12°C tilsvarende grensen mellom den sørligste lavarktiske undersonen og nordborealt (CAVM Team 2003). Beregningen antar at den lineære endringsraten som er observert for gjennomsnittlig julitemperatur over årene 1991-2018 holder seg uendret. De sørligste deler av tundra nærmest skoggrensen har allerede passert denne grensen og omtrent halvparten av den resterende lavarktiske tundraen forventes å passere den i løpet av det nærmeste tiår. Bemerk at figuren er ment som en illustrasjon basert på en forenklet lineær framskrivning, ikke på nedskalerte klimascenarier (Hanssen-Bauer et al. 2015).

4.4 Anbefalinger for videre overvåking og forskning

Pilottesten av fagpanelprotokollen har vært basert på et begrenset utvalg av det settet av tilstandsvariable som skal inngå i COATs økosystembaserte overvåkningssystemer (www.coat.no), i tillegg til noen indikatorer hvis datagrunnlag ikke er en del av COAT. De økosystemegenskapene som i pilottesten har hatt en begrenset dekning (**figur 4.2**) vil kunne komplementeres av flere indikatorer fra og med 2021. Dette forutsetter imidlertid at COAT gis driftsmidler til den infrastrukturen som nå er under etablering, samt det feltarbeid som kreves for å forlenge eksisterende indikatorserier og evt. initiere nye. Flere av indikatorene som har inngått i pilottesten vil også fornyes/forbedres ved hjelp av ny teknologi; f.eks. kameraovervåking av herbivorer og predatorer, akustisk overvåking av fuglesamfunn og droneovervåking av vegetasjon. Denne teknologien vil øke omfanget av feltmålingene ved å inkludere flere romlige strata/naturtyper og større deler av økologiske samfunn samt gi flere av indikatorene en bedre tidsmessig dekning/oppløsning. Det skjer for tiden en betydelig innsats i prosjektet COAT Tools for å implementere og validere denne nye teknologien.

Denne pilottesten, samt andre studier basert på COAT-data (f.eks. Kleiven et al. 2018, Ravolainen et al. 2014, Soininen et al. 2018), har påvist at flere av de feltmålte indikatorene viser stor variasjon i tid og rom som kan gi tolkningsproblemer for hva som er økologisk tilstand på økosystemnivå. Dette gjelder særlig i tilfeller hvor det romlige omfanget av målingene er begrenset eller der det ikke fins validerte modeller til grunnlag for romlige ekstrapolasjoner. Selv for abiotiske indikatorer med fundamental betydning for tundraøkosystemers tilstand (f. eks. snø og bakkeis) er det et svært dårlig samsvar mellom modellekstrapolerte verdier og feltmålinger. Derfor er det et stort behov for å utvikle bedre modeller for flere av de abiotiske indikatorene. Dette forutsetter at det etableres utvidete nettverk av bakkebaserte sensorer – særlig værstasjoner – til grunnlag for denne modellutviklingen. Slike nettverk må kunne dekke de viktigste geografiske klimagradiene både i Høy-Arktisk og Lav-Arktis. Basert på tidligere og pågående forskning på tundraøkosystemer er det etablert en relativt god forståelse av sammenhengen mellom drivere (særlig klima) og mange av indikatorene, samt hvilken betydning disse indikatorene har for de ulike økosystemegenskapene i fagsystemet. Det er imidlertid et behov for videreutvikling av de mest komplekse indikatorene i systemet (f. eks. biomasse mellom trofiske nivåer og funksjonelle grupper). For økosystemer som gjennomgår fundamentale endringer i den grad som nå skjer for arktisk tundra, vil det være behov for et løpende utviklingsarbeid. Etter hvert som økosystemene endrer karakter vil det være et behov for innfasing og utvikling av nye indikatorer og modeller. Dette krever adaptive protokoller for både overvåkningssystemet som skal gi indikatordata og fagsystemet som skal gjøre tilstandsvurderinger basert på indikatorene.

Tabell 4.3 gir en samlet liste over indikatorer som av ulike hensyn ikke er med i pilottesten, men som vi vurderer både som nær operasjonaliserbare og viktige supplement for å forbedre egen-skapenes indikatordekning.

Tabell 4.3. Indikatorer for lavarktisk og høyarktisk tundra, som ikke er inkludert i piloten, men som vurderes som nær å kunne operasjonaliseres og anbefales inkludert i en operasjonell versjon av fagsystemet. For anbefalinger for videreutvikling av indikatorer som allerede er inkludert, se Appendikser vedlagt den utfylte protokollen (vedlegg 3 til denne rapporten).

Egenskap	Indikator	Beskrivelse av rollen indikatoren har for å vurdere egenskapen
Lavarktisk tundra		
Biologisk mangfold	Plantemangfold	Egenskapens samlede indikatordekning er mangelfull grunnet fravær av indikatorer på flere funksjonelt viktige grupper heriblant plantemangfold. For arktiske plantesamfunn har man god kjennskap til arters bioklimatiske tilhørighet (Elven 2019) og det anbefales å inkludere en indikator på plantemangfold med særlig fokus på dominansforholdet mellom arktiske/alpine arter og boreale arter. Indikatoren kan hente sitt datagrunnlag både fra detaljert overvåking av planteabundans i åpne tundrahabitater og fra romlig ekstensive datakilder på tilstedeværelse (GBIF, Artsdatabanken) som gir mulighet for modellering av klimadrevne endringer i utbredelsen av arktisk plantearter (Niskanen et al. 2019).
Biologisk mangfold	Fuglesamfunn – TOV-E	Det er dokumentert en nedgang i abundansen av arktiske og alpine fuglesamfunn i Skandinavia etter 2000 (Lehikoinen et al. 2014). COATs overvåking av fuglesamfunn knyttet til krattenger på Varangerhalvøya, som har inngått i pilottesten, er i samsvar med dette resultatet. Det er imidlertid behov for å få en mer arealekstensiv overvåking som dekker flere habitater. 'Ekstensiv overvåking av hekkefugl (TOV-E)' er det mest omfattende overvåkingsprogram for terrestriske fuglearter i Norge. Det inngår rundt 12-14 telleruter i lavarktisk tundra, i tillegg til noen få som ligger over tregrensen i økotonen. En del av disse er imidlertid relativt nyetablerte og det vil dermed være begrenset grunnlag for å vurdere endringer tilbake i tid. Det anbefales å basere en regional indikator på fuglesamfunn i lavarktisk tundra/økoton på TOV-E, med tanke på å dokumentere nylige og fremtidige endringer i fuglesamfunnet.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Insektsamfunn i død ved	Insektutbrudd i skogtundraen resulterer en kraftig puls av død ved inn i økosystemet på svært kort tid. Lenger sør spiller samfunnet av død ved-tilknyttede insekter en avgjørende funksjonell rolle for nedbrytingen av død ved. Abundansen og artssammensetningen av funksjonelle grupper i dette insektsamfunnet har betydning for nedbrytningsraten som historisk sett sannsynligvis har vært lav på grunn av relativt kaldt klima. I et varmere klima forventes både endringer i abundans og funksjonell sammensetning med følger for nedbrytingen av død ved i skogtundraen. COATs overvåking av dødvedinsekter, som har pågått siden 2011, er så vidt vites de eneste data som dokumenterer endringer i dette artssamfunnets sammensetning og respons på mengden av død ved i nordlig bjørkeskog.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Bjørkemålere	Sykliske utbrudd av bjørkemålere forekommer i skogtundraen hvert 10. år, men varierende grad av styrke. Etter 2000 har det vært spesielt langvarige utbrudd, grunnet spredning av liten høstmåler helt nord til den lavarktiske tregrensen. Disse utbruddene har de siste årene vist begynnende spredning inn i tundra-krattsonen. COAT har i 20 år drevet intensiv overvåking av bjørkemålere i bjørkeskogen i Troms, og nylig også etablert dette i skogtundraen i Øst-Finnmark. I tillegg finnes det lange (> 20 år) tidsserier fra skogtundra og tregrense i regionen vedlikeholdt av finske forskere, som etter planen skal inkluderes i COAT. Det anbefales å inkludere en regional indikator på bjørkemålerdynamikk med særlig fokus på en mulig intensivering og/eller spredning av utbrudd inn i skogtundraen.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Fjellbjørk i tundra	De store endringer som har forekommet i abiotiske forhold (vekstmiljøet), er forventet på sikt å resultere i økende etablering av busker og trær i dagens tundra. Det anbefales å inkludere en regional indikator

Egenskap	Indikator	Beskrivelse av rollen indikatoren har for å vurdere egenskapen
		på forekomst av fjellbjørk i tundra, primært basert på fjernmålingsdata (omløpsfoto, drone) ev. supplert med ekstensive bakkeedata for validering.
Landskapsøkologiske mønstre	Klimatisk skog/tregrense	De bioklimatiske undersoner definert av CAVM er nyttige oppdelinger på stor skala, men siden de er basert på sirkumpolare grenseverdier, har de begrenset lokal nytte eks i forhold til å overvåke vekstmiljøet for trær og busker med tanke på forbuskning i tundra. Det pågår i øyeblikket et betydelig utviklingsarbeid med lokale nedskalerte modellerte klimadata for lavarktisk tundra i regi av MET og COAT. Basert på dette arbeidet er det mulig å lage lokale beregninger av endringer i de klimatiske grenser for skog og krattsonen som har høyere relevans for Fagsystemet enn eks sørgrensen av de arktiske CAVM soner. Det anbefales å inkludere en regional indikator på den klimatiske skog/tregrense.
Abiotiske forhold	Årsmiddeltemperatur	Årsmiddeltemperatur er en indikator som har en klar kopling til permafrostforekomst og -utvikling, og som er klar til bruk.
Abiotiske forhold	Albedo	Albedo styres av snødekkets utbredelse og vegetasjonsdekkets egenskaper (særlig utbredelsen av busker og trær) og har en viktig regulerende funksjon i klimasystemet. Herbivoreffekter, særlig reinbeite, kan påvirke albedoen vesentlig gjennom sin effekt på busk- og tresjiktet i skogtundra og karttundra (Biuw et al. 2014, Cohen et al. 2013). Det anbefales å inkludere en regional indikator på albedo, basert på MODIS (2000-i dag).
Høyarktisk tundra		
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Kortnebbgås produksjon	Detaljerte produksjonsdata (ungfuglandel) for kortnebbgås finnes fra utvalgte sommerområder på Svalbard for perioden 2003-i dag. Disse vil være et viktig supplement til abundansdata og det anbefales en egen indikator på produksjon hos kortnebbgås. Tilsvarende data finnes ikke for hvitkinngås.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Fjellrev zoonoser	Fjellrev er vektor for rabies og hovedvert for revens dvergbendelorm (Fuglei et al. 2008, Mørk et al. 2011). Overvåkingsdata finnes på fjellrevens zoonosestatus for perioden 1997-idag og det anbefales en egen indikator på zoonosestatus hos fjellrev. COAT starter overvåking av dvergbendelmarkens mellomvert, østmarkmus (innført art), ved hjelp av fotobokser i 2019. Denne nye overvåkingen har til hensikt å overvåke spredning av mellomverten og dermed gi dagtagrunnlag for en indikator for på spredning av parasitten.
Funksjonelt viktige arter og strukturer	Fjellrev produksjon	Detaljerte produksjonsdata finnes for fjellrev for perioden 1997-i dag. Disse vil være et viktig supplement til abundansdata og det anbefales en egen indikator på produksjon hos fjellrev.
Funksjonelle grupper	Plantevekstformer	Plantevekstformers abundans har stor betydning for beitedyrsbestandene og for næringssyklus og primærproduksjon. Plantevekstformers abundans er forventet å endres med klimaendring og beitedyrsbestander. Det finnes enkelte lokale dataserier fra 1996-i dag (van der Wal & Stien 2014), og et større, romlig replikert design i regi av COAT, som imidlertid er nyetablert (2017->). Det anbefales at disse datakilder utnyttes til å etablere en indikator for den funksjonelle gruppen Plantevekstformer for høyarktisk tundra med tanke på å dokumentere nylige og fremtidige endringer innen denne gruppen.
Landskapsøkologiske mønstre	Vegetert areal versus bar jord	Vegetasjonsdekke har betydning for beitedyrsbestander og for ratene av nedbrytning og næringssyklus. Økende prominens av vegetasjonsforstyrrende prosesser relatert til smeltende permafrost (Guegan & Christiansen 2017) er forventet med permafrostoppvarming og økende dybde av det aktive laget på sommeren. Økende bestander av gås kan bidra til lokal erosjon av vegetasjonsdekket. Ekstreme klimahendelser forventes å øke skader på vegetasjon. Det

Egenskap	Indikator	Beskrivelse av rollen indikatoren har for å vurdere egenskapen
		foregår et betydelig utviklingsarbeid på å etablere fjernmålingsbasert indikatorer/tilstandsvariabler på vegetert areal i regi av COAT (drone og satellittbilder), som vil gi data relevant for Fagsystemet. Det anbefales å inkludere en indikator på vegetert areal vs bar jord med særlig fokus på vegetasjonsforstyrrende prosesser forårsaket av klimændringer.
Biologisk mangfold	Svalbardrype produksjon	Detaljerte produksjonsdata finnes for Svalbardrype for perioden 1997-i dag (Soininen et al. 2016). Disse vil være et viktig supplement til abundansdata og det anbefales en egen indikator på produksjon hos Svalbardrype.
Abiotiske forhold	Årsmiddeltemperatur	Årsmiddeltemperatur er en indikator som har en klar kopling til permafrostforekomst og -utvikling, og som er klar til bruk.
Abiotiske forhold	Antall graddager	Både antall graddager og graddagssum er gode indikatorer på vekstsesongen beskaffenhet og det anbefales å inkludere begge disse på samme måte som gjort for fastlandet. Disse kan beregnes basert på samme modellerte klimadata (med samme forbehold for datakvalitet) som de øvrige klimatiske indikatorer.
Abiotiske forhold	Graddagssum vekstsesong	Både antall graddager og graddagssum er gode indikatorer på vekstsesongen beskaffenhet og det anbefales å inkludere begge disse på samme måte som gjort for fastlandet. Disse kan beregnes basert på samme modellerte klimadata (med samme forbehold for datakvalitet) som de øvrige klimatiske indikatorer.
Abiotiske forhold	Albedo	Albedo styres av snødekkets utbredelse og vegetasjonsdekkets egenskaper (særlig utbredelsen av busker og trær) og har en viktig regulerende funksjon i klimasystemet. Det anbefales å inkludere en regional indikator på albedo, basert på MODIS (2000-i dag).
Abiotiske forhold	Bakkeis	Ising nær bakken som følge av vintermildvær og regn-på-snøhendelser gir dårligere livsbetingelser for herbivorer som kan betydelige effekter på abundans og dynamikk. Satellitt- og modellbaserte data på bakkeis er per i dag ikke av tilstrekkelig god kvalitet til å kunne estimere omfanget av ising, hverken på regional eller lokal skala. En indikator på bakkeis som baserer seg på bakkemålinger vil være et svært viktig supplement for eksempelvis å tolke bestandssvingninger hos Svalbardrein (Hansen et al. 2019).

5 Erfaringer med fagpanelprotokollen

I det følgende presenteres erfaringer med fagpanelprotokollen basert på pilottester utført på arktisk tundra og arktisk del av Barentshavet. Vi adresserer også noen justeringer som bør gjøres i Fagpanelprotokollen frem mot operasjonell bruk, basert på erfaringer fra pilottestene.

5.1 Transparens og etterprøvbarehet

Med bakgrunn i rammeverk fra blant andre IPBES og IPCC er det i fagpanelprotokollen lagt til rette for å evaluere endringer i økosystemet og samtidig vurdere hvor sikre vi er på at de representerer effekter av menneskelig påvirkning og ikke naturlig variasjon eller mangelfullt datagrunnlag. Fagpanelprotokollen er basert på vitenskapelige data og metoder, og selve vurderingen blir gjort av et fagpanel av eksperter. Et fundamentalt element i protokollen er spesifisering av fenomener i form av endrings- og konsekvensscenarier på indikator- og egenskapsnivå. Dette har vist seg å være en prosedyre som gir en systematisk synliggjøring av kunnskapsstatus - både med hensyn på hvilken betydning indikatorene har for økosystemegenskapene de skal indikere og hvilke relasjoner de har til antropogene og naturlige drivere. Det har blitt lagt vekt på at begrunnelsene for fenomener (dvs. det faglige kunnskapsgrunnlaget) i størst mulig grad bør baseres på vitenskapelig litteratur. En begrunnelse av et fenomen er en kort oppsummering av det faglige kunnskapsgrunnlaget, med nok detaljer til at de vurderinger som er lagt til grunn, eksempelvis av hvorfor et gitt fenomen utgjør en utvikling mot dårlig tilstand, kan etterprøves av uavhengig kompetanse (f. eks. i form av fagfellevurderinger). For de arktiske økosystemer vurdert i denne pilottesten har de fleste fenomenene god forankring i forskningslitteraturen. Økosystemendringer i Arktis under klimaoppvarmingen er et svært aktivt forskningsfelt, og det fins flere godt kvalitetssikrede internasjonale synteser (f.eks. ACIA 2004, CAFF 2013) hvor økologiske fenomener knyttet til klimaendringene allerede har blitt spesifisert og ofte i noen grad verifisert. Fordi forskningsfronten er i stadig utvikling er det viktig at fenomenene som ligger til grunn for et fagpanels vurderinger oppdateres for hvert periodiske gjentak av protokollen. Ekspertrådet foreslår i sin grunnlagsrapport et omløp på 5 år, og det vurderer vi som hensiktsmessig også for arktiske økosystemer der særlig den abiotiske egenskapen er i rask endring.

I fagpanelprotokollen vurderes usikkerheter knyttet til manglende datagrunnlag (datadekning), manglende indikatorgrunnlag (indikatordekning for egenskaper), manglende kunnskapsgrunnlag (forståelse av kobling til drivere og effekter på økosystemet, VF), og manglende statistisk eller biologisk evidens for avvik fra god økologisk tilstand (EF). Denne åpenheten om usikkerhet i vurderingene synliggjør hvor det er behov for mer forskning og/eller overvåking. Dette kom tydelig frem i pilottesten for hav. Til tross for at Barentshavet er et godt studert havområde, preges vurderingen av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet av manglende kunnskap og forståelse av prosesser i økosystemet. Dette resulterte i flere fenomener med lav gyldighet (VF) og at det har vært utfordrende å gi gode beskrivelser av normativ god økologisk tilstand. Samtidig er datadekningen vurdert som god for de aller fleste av de etablerte indikatorene. Usikkerheten i vurderingene er derfor ofte grunnet manglende forståelse av den økologiske dynamikken heller enn manglende data. For noen økosystemegenskaper er imidlertid indikatordekningen mangelfull, slik at det også er et behov for bedre data for noen deler av vurderingen.

5.2 Gjennomføring

Første gang en vurdering skal gjennomføres etter fagpanelprotokollen kreves et grundig arbeid i forkant av fagpanelmøtet med å identifisere relevante indikatorer for økosystemet og sammenstille data, spesifisere fenomener, vurdere datagrunnlag og analysere data for hver enkelt indikator. Dette er en arbeidskrevende prosess. Men ved nye omløp vil det stort sett kun trenge oppdateringer. Dette grunnlagsarbeidet utgjør det faglige kunnskapsgrunnlaget som alle deltakere i fagpanelet vil få tilgang til i god tid før allmøtet i fagpanelet. Under selve møtet vil det være

nyttig å bruke en sjekkliste over punkter som skal adresseres for hver vurdering som skal gjøres for å sikre at alle momenter av usikkerhet, fra rådata til indikatordekning per egenskap, blir tatt hensyn til. Fordi fagpanelprotokollen henter inspirasjon fra internasjonale panelvurderinger, for hvilke omfattende retningslinjer for 'best practice' er utarbeidet gjennom mange år (Mach et al. 2017, Mastrandrea et al. 2011), finnes der et omfattende erfaringsgrunnlag å utarbeide en slik sjekkliste fra. Møtet bør starte med at alle paneldeltakerne får kommentere på prosessen så langt på bakgrunn av det skriftlige grunnlaget. Dette medvirker til at vurderingene blir harmonisert på tvers av indikatorer og egenskaper. I allmøtet er det særlig viktig det blir satt av tilstrekkelig tid til vurderinger på egenskaps- og økosystemnivå. Det er særlig på dette nivået den komplementære kompetansen som et helt panel besitter kommer til full nytte i vurderingene av sammenhenger mellom endringer i de enkelte indikatorene og egenskapene. Større tilstandsskifter i økosystemer manifesteres nettopp i form av slike sammenhenger. Vår erfaring er at diskusjoner og vurderinger som gjøres i slike panelmøter i høy grad er kompetansebyggende og således et viktig produkt av selve prosessen. Det er derfor en fordel at panelene har kontinuitet i sin sammensetning.

Et fagpanel skal så langt det er mulig prøve å oppnå konsensus for de vurderinger som blir gjort. Tvetydigheter eller flertydigheter i fenomenene opptrer gjerne for komplekse økosystemegenskaper der endringer i indikatorene kan få forskjellige utfall på grunn av en enkelt driver (f. eks. klimaendringer) eller ved at egenskapen er utsatt for flere samtidige drivere (f. eks. både naturlige og antropogene). I slike tilfeller kan alternative fenomener vurderes på samme måte som alternative hypoteser normalt vurderes i deduktiv forskning hvor vurderinger av evidens er en dynamisk (iterativ) prosess. Selv om fagpaneler normalt arbeider med hensyn på å oppnå konsensus er det viktig å synliggjøre ulike tolkninger og usikkerhet knyttet til det faglige kunnskapsgrunnlaget. I de fleste tilfeller vil graderingen av «fenomenenes gyldighet» reflektere godt både grad av konsensus i panelet og den forskningen vurderingene er basert på. Det vil allikevel være viktig at grunner for manglende konsensus identifiseres og dokumenteres, og det kan være verdifullt å formulere retningslinjer for hvordan dette skal gjøres. Ved uenighet i vurdering av fenomenets gyldighet (VF) bør dette inkluderes i begrunnelsen for fenomenet. Ved uenighet i vurdering av graden av evidens for at et fenomen har inntruffet (EF) bør dette noteres i tabellen for vurderinger av VF og EF, i tillegg til i den samlede vurderingen av egenskapen og økosystemet som helhet.

Pilottestene ble gjennomført med en «minimumsversjon» av fagpanelene. I operasjonell bruk er det mest hensiktsmessig at fagpanelene er en bredt sammensatt gruppe forskere fra ulike forskningsinstitusjoner (som kan ha ulike mandater og kompetanser) og med deltakelse av relevante interessenter (forvaltningsmyndigheter og rettighetshavere). Inkludering av interessenter vil åpne for alternative vurderinger av tilstandsendringenes betydning og ulik vektlegging av indikatorer og økosystemegenskaper ut fra nærings-, verne- eller forvaltningsbehov. Medvirkning av sentrale interessenter i panelet vil også gi en større forståelse av prosessen som ligger til grunn for de faglig baserte vurderingene av økologisk tilstand. Interessenter bør involveres i større grad også i arbeidet med å utvikle indikatorsettet og formulere fenomener, for å sikre mest mulig relevans for forvaltningen. En hovedanbefaling til IPBES i forbindelse med det nylige review av vurderingsprosessen er *“to develop a clearer and more strategic approach to its stakeholders, including by clarifying its partnerships strategy and allowing for more strategic engagement by a key set of partners”*.¹²

Når vurderinger gjennomført ved fagpanelprotokollen skal oppdateres vil arbeidsmengden være betydelig redusert sammenlignet med når systemet skal etableres for første gang. I pilottestene har den største arbeidsmengden vært å innhente datagrunnlaget. For arktisk tundra foreligger nå dette på et systematisk format med programkode i R som enkelt tillater oppdateringer av alle indikatorverdier etter hvert som nye data hentes inn. For marint arbeides det med å etablere det

¹² Plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services Seventh session Paris, 29 April–4 May 2019 Item 8 of the provisional agenda* Review of the Platform at the conclusion of its first work programme. https://www.ipbes.net/system/tdf/ipbes-7-5_en_review.pdf?file=1&type=node&id=29737

samme gjennom RStoX (www.hi.no/forskning/prosjekter/stox/rstox-package/nb-no). Derne st har det vært tidskrevende å identifisere og begrunne egnede fenomener. En fremtidig operasjonell implementering av fagpanelprotokollen vil derfor for det meste kun kreve oppdateringer. Basert på forrige vurdering, kan det imidlertid være relevant med en oppdatering av indikatorsettet, og det vil i så tilfelle medføre noe mer arbeid i form av formulering av fenomener, beskrivelse av kunnskapsgrunnlag og analyser av data for disse. For indikatorer og fenomener som har vært inkludert i tidligere vurderinger trengs i forkant av fagpanelmøte en oppdatering av det faglige kunnskapsgrunnlaget basert på nyere faglitteratur, analyser av oppdaterte datasett, og en revurdering av datadekning for indikatorene. Det følger av denne prosessen at fenomenene vil utvikles over tid til å bli mer presise og få bedre gyldighet, og vurderingene vil bli mer sikre. Etter pilottestene av fagpanelprotokollen er vår oppfatning at en operasjonell vurdering basert på denne ikke vil være mer ressurskrevende enn en vurdering basert på en indeksprotokoll, da også en indeks-basert vurdering bør evaluere indikatorsettet, og beregne eller anslå tidligere fastsatte referanse og grenseverdier på nytt i lys av ny kunnskap og litteratur, og hente inn bidrag fra mange institusjoner ved hver ny oppdatering.

For å kvalitetssikre fagpanelets arbeid er det ønskelig at dette utsettes for en uavhengig fagfellelvurdering. Dette mener vi er avgjørende for vurderinger uansett protokoll. Vi vil anbefale en fagfellelvurdering, der kommentarene fra vurderingen er tilgjengelige sammen med fagpanelets vurderinger, helt til neste gang økosystemet skal vurderes. Ved neste vurdering kan kommentarene fra fagfellelvurderingen tas i betraktning, og en vil på denne måten få en raskere forbedring av kvaliteten på vurderingene som blir gjort. For å øke muligheten til å finne uavhengig kompetanse til å gjennomføre en fagfellelvurdering kan det være en mulighet å bruke engelsk som språk for bakgrunnsmateriale, men at vurderinger og fagpanelmøte gjennomføres på norsk. Alternativt vil det kunne foreligge på begge språk. I piloten har vi også erfart at det i noen tilfeller er et problem for deltagelse fra kolleger som ikke behersker norsk som arbeidsspråk at alt foreligger på norsk. Ytterligere et argument for at dette burde foreligge på engelsk er det økende hensynet til internasjonale vurderinger som tas også i norsk forvaltning. For marine områder spesielt, skal vurderingene gjøres for økosystemer som er i internasjonalt farvann, og resultater fra slike arbeid vil være av interesse for flere nasjoner enn Norge (f.eks. eksempel Russland og nasjoner i Arktisk råd). Det samme gjelder arktisk tundra hvor regelmessige tilstandsvurderinger i regi av Arktisk råd skjer på en sirkumpolar skala.

5.3 Mindre justeringer i vurderingskriterier

Ved vurderingene av økologisk tilstand for hver egenskap har fagpanelet hatt stor nytte av figuren som samler informasjon om både evidens for avvik fra god økologisk tilstand og usikkerheter både knyttet til kunnskapsgrunnlag og datagrunnlag. I piloten ble det imidlertid klart at det var uheldig at grunnlaget for hvorfor et fenomen plasseres i kategorien EF = ingen evidens for endring i indikatorens verdi ikke kommer klart frem i denne visualiseringen. I kategorien EF = ingen plasseres både fenomener der det er manglende evidens for avvik fra god tilstand (eksempelvis ved stor naturlig variasjon, eller begrensede data) og fenomener med god evidens for at det ikke er noen avvik fra god tilstand (enstydig med god tilstand). Dette kan løses med å markere fenomener med EF = ingen grunnet manglende evidens for avvik fra god tilstand med grå symboler. I vurderingen av datagrunnlaget (tidsmessig representativitet), bør videre vurderes en mindre justering i definisjonen av hva som utgjør god tidsmessig representativitet. Nå vektlegges data-serienes lengde relativt til indikatorens dynamikk, samt hvorvidt datagrunnlaget er tidsmessig overlappende med den klimatiske referanseperioden. Dette er motivert av premissene i grunnlagsrapporten for Fagsystemet. Det kunne vurderes å generalisere dette kriterium til en «tidsperiode uten betydelig påvirkning fra de (for indikatoren) relevante menneskelige drivere». For primært klimapåvirkede indikatorer vil dette da fremdeles bety den klimatiske referanseperioden, mens det for en primært forvaltningspåvirket indikator kunne referere til en annen og potensielt kortere tidshorisont.

5.4 Visuell fremstilling

Den grafiske fremstillingen av den samlede vurderingen av økosystemet har i pilottesten bestått av fargekodede tabeller med vurderinger av kunnskapsgrunnlaget og fenomenene til fast definerte kategorier. Vi betrakter disse som hensiktsmessige da de gir en lettfattelig visuell oversikt over svakhetene i kunnskapsgrunnlaget, som er gjennkjennelig bl.a. fra risikovurderinger. Vurderingen av samlet tilstand har blitt gjort til tre definerte klasser som fremstilles i en fargekodet tabell på egenskapsnivå. Dette er i tråd med mandatet som spesifiserer at *«Det skal fokuseres på hva som er god tilstand, og ikke andre klassegrensene»*. Dette enkle grafiske uttrykket bygger på en nyansert vurdering beskrevet i tekst. Fordelen ved et enkelt grafisk uttrykk er at det kan anvendes for alle økosystemer og på tvers av protokoller om man ønsker det. Vi vurderer imidlertid at det kunne være formålstjenlig å utbygge denne til en samlet oversikt over tilstand, endringstrender og graden av evidens i stil med de grafiske oppsummeringer anvendt av IPBES, som er mere informasjonsrik, men også da blir mere spesifikk for fagpanelprotokollen.

5.5 Synergier mellom økosystemer og romlig skala

Arbeidet med å utvikle og teste pilotversjonen av fagpanelprotokollen har vært utfordrende og arbeidskrevende. Det har vært til stor hjelp at dette har vært gjennomført i et tett samarbeid mellom prosjektgruppene for arktisk tundra og for hav. Dette samarbeidet har verifisert at fagprotokollen kan anvendes på økosystemer som i utgangspunktet er svært forskjellige (tundra vs. hav) både med tanke på historiske og nåtidige drivere, og kunnskapsgrunnlag. Det har vært en klar fordel at begge gruppene har lang erfaring med forskning, overvåkning og tilstandsvurderinger på økosystemnivå og dermed har hatt ganske sammenfallende oppfatninger om hvilke typer vurderinger som er egnet for såpass komplekse systemer. Det har også vært en fordel at begge gruppene har gjennomført pilottesten på relativt veldefinerte økosystemer (dvs. med relativt klare naturgitte geografiske avgrensinger) og hvor det er et relativt godt empirisk grunnlag for tilstandsvurderinger i form av tidsserier. Det siste er dog ikke et krav for å kunne bruke fagpanelprotokollen, men vil gi en mer nyansert vurdering, med potensielt lavere usikkerhet knyttet til estimerte endringer.

Vurderinger basert på fagpanelprotokollen bør gjøres på en 'økologisk relevant' romlig skala under hensyn til at mange menneskelige drivere og naturlige økosystemprosesser opererer over relativt utstrakte områder (se også kap. 1.3). Dette er også i tråd med ekspertrådets mandat som sier *«... foreslå et fagsystem som kan etableres for økosystemer på fylkes-/ regionnivå, eller annet faglig basert, hensiktsmessig nivå»*. Den romlige skalaen sammenfaller med skalaen for mye av det faglige grunnlagsarbeidet i oppfølgingen av de helhetlige havforvaltningsplanene, som for eksempel vurdering av samlet påvirkning, vurdering av miljøtilstand og vurdering av oppnåelse av miljømål. Vurderinger utført på større veldefinerte økosystemer gir også som regel et bedre datagrunnlag og et større tilfang av kompetansepersoner som kan inngå i fagpanelet. Hvis panelvurderingene skal gjennomgå en uavhengig kvalitetssikring (fagfelle-vurdering), noe vi entydig anbefaler, er det også en fordel at tilstandsvurderingene gjøres på en relativt stor skala, fordi dette vil gi større muligheter for at det finnes annen uavhengig kompetanse om det gjeldende økosystemet.

5.6 Oppsummering av anbefalinger om justeringer av protokoll

Oppsummerende anbefaler vi at følgende justeringer gjøres før operasjonell anvendelse av fagpanelprotokollen:

- Spesifisere hvordan manglende enighet om vurderingen av fenomener innad i fagpanelet håndteres. Vi foreslår over hvordan dette kan gjøres uten å komplisere prosessen.
- Nyansere EF-kategorien «Ingen avvik fra god tilstand» slik den skiller mellom fenomener der man har manglende evidens grunnet stor naturlig variasjon eller begrensede data, og tilfeller der man faktisk har god evidens for at ingen endringer har forekommet. Vi har her gitt et forslag til hvordan dette kan gjøres uten å komplisere prosessen.
- Vurdere en generalisering av kriteriet for tidsmessig representativitet av datagrunnlaget.
- Utarbeide en sjekkliste for hvert ledd i vurderingen som fagpanelet skal følge. Dette sikrer at alle led er gjennomført for hver indikator og tatt hensyn til i vurderingen.
- Utarbeide en felles forståelse med oppdragsgiver om sammensetningen av fagpanelet. Vi anbefaler at forvaltningsmyndigheter og rettighetshavere inkluderes i panelet sammen med den forskningsmessige kompetansen.
- Avklare mulighetene for at fagpanelets operasjonelle vurderinger blir utsatt for en fagfellevurdering etter hvert omløp. Dette vil ikke bare gi økt nasjonal og internasjonal kredibilitet til vurderingene som gjøres, men også bidra til bedre tilstandsvurderinger, fordi disse fagfellevurderinger tas med inn i neste omløp. Dette er en anbefaling som vi fremmer uansett protokoll.
- Vurdere en alternativ grafisk fremstilling av den samlede vurderingen som er mere informasjonsrik, men dermed også mere spesifikk for fagpanelprotokollen.

6 Overordnede anbefalinger

Basert på erfaringene fra ulike deler av arbeidet siden 2016 med fagsystemet, inkludert pilottestene i arbeidsgruppene for arktisk tundra og hav, er det her gitt følgende overordnede anbefalinger om det videre arbeidet med fagsystemet:

Valg av protokoll

I kap 1.3 er det gjort rede for en rekke problematiske sider ved indeksprotokollen. For det første er det grunnleggende problemer forbundet med å tallfeste referanse- og grenseverdier for god økologisk tilstand for de fleste indikatorer. Videre lar en del indikatorer seg ikke skalere og kan følgelig ikke inkluderes i protokollen, noe som gjorde at en avtalt felles test av indeksprinsippet utført av alle tre arbeidsgruppene på abiotiske indikatorer (hvor det er mindre problemer med å estimere referanse- og grenseverdier) ikke lot seg gjennomføre. Videre finnes det ikke et *a priori* faglig grunnlag for å velge algoritmer (f. eks. aritmetiske gjennomsnitt) som aggregerer indikatorer på tvers av økosystemegenskaper til en samlet indeks for økologisk tilstand. Sammenfallende kritikk har kommet frem i en nylig avlagt rapport gjort på oppdrag av Miljødirektoratet for å vurdere deler av arbeidet med Naturindeksen (Pedersen et al. 2018), som er basert på de samme prinsippene som Indeksprotokollen. Her trekkes det frem at ekspertsatte estimater av indikatorverdier «gjennomgående er for usikre og derfor har en svært begrenset verdi som grunnlag for forvaltningen av norsk natur» (s 90). Videre trekkes det frem et behov for å utvikle overvåkingen i en retning «som er egnet til å gi en funksjonell forståelse av sammenhengene mellom økosystemenes komponenter og hva som påvirker deres tilstand (Lindenmayer & Likens 2009, 2010, Lindenmayer mfl. 2011, Ims mfl. 2013)» (s 92). Slik forståelse er egnet til å tas inn i en fagpanelvurdering, men lar seg vanskelig representere i en indekstilnærming (se kap 1.4). Pilottestene har vist at fagpanelprinsippet har fungert godt i både det terrestriske og det marine økosystemet og at det derfor er en tilnærming som kan anvendes bredt. Erfaringene fra blant annet IPCC og IPBES har vist at strukturerte fagpanelvurderinger er mest egnet til vurdering av komplekse systemer (klima og økosystemer). Derfor anbefales det at fagpanelprinsippet bør legges til grunn i det videre arbeidet med fagsystemet for vurdering av økologisk tilstand. Det understrekes at fagpanelprinsippet også kan anvendes for systemer hvor det er få eller ingen tidsserier.

Fagfellevurdering

Det har vært arbeidet med utvikling av fagsystemet siden høsten 2016 uten at det har vært gjennomført noen større ekstern vurdering. Dette er en svakhet særlig tatt i betraktning at Ekspertrådet og arbeidsgruppene har vært relativt små og manglet representasjon fra flere relevante norske fagmiljøer. Det anbefales derfor at det nå gjøres en større ekstern vurdering. Dette bør gjøres ved hjelp av et internasjonalt sammensatt review-panel for å sikre bredde i kompetanse og uavhengighet i vurderingene, og panelets kommentarer bør være åpent tilgjengelige. Vurderingen kan gjøres på pilotversjonen av gjennomføringen, evt. med noen justeringer, og bør også omfatte tekniske protokoller. Dersom Miljødirektoratet skulle ønske å legge både fagpanelprinsippet og indeksprinsippet til grunn for det videre arbeidet med fagsystemet, må begge prinsippene fagfellevurderes.

Klima

I arbeidet med fagsystemet har det vært fremmet et synspunkt om at klima kun skal betraktes som en driver og ikke som en del av økosystemet som må representeres med indikatorer. Det anbefales her en holder seg til utgangspunktet fra grunnlagsrapporten, der det er slått fast abiotiske forhold, herunder klimatiske indikatorer, skal betraktes som en del av økosystemet og dermed ikke som en driver. Dette er også nedfelt i hovedstrukturen for rammeverket i fagsystemet, ved at klimaforhold er per definisjon en komponent av økosystemers abiotiske egenskaper. Driveren i dette bildet er utslipp av drivhusgasser og annen menneskeskapt påvirkning på klima, og endringer i klima målt med indikatorer for dette vil være en sentral respons i de fleste økosystemer og som bare vil bli viktigere i fremtiden. En vurdering uten klimaindikatorer vil derfor i mindre grad fange en påvirkning som i fremtiden vil bli sentral i de fleste økosystemene i Norge. Flere av de biotiske egenskapene i økosystemet er drivere av klimaendringer gjennom

tilbakekoplingsmekanismer – noe som også begrunner hvorfor klimavariabler må inngå i fagsystemer som indikatorer for økosystemets funksjon.

Skala

Det anbefales at vurderinger av økologisk tilstand gjøres på en skala som er stor nok til å favne viktige økologiske prosesser og påvirkninger som foregår på stor skala. Skalaen bør også være stor nok til at tilfanget på data er tilstrekkelig. For terrestriske økosystemer betyr det fylker eller regioner og for marine systemer større deler av et havområde, som for eksempel større deler av Barentshavet, Norskehavet eller Nordsjøen og Skagerrak. Vurderinger av større økosystem vil også kunne gi grunnlag for å etablere fagpaneler med tilstrekkelig kompetanse for hvert økosystem.

Operasjonalisering

Arbeidet med fagpanelprinsippet og pilotene er nå kommet så langt at ikke mye gjenstår før fagsystemet kan operasjonaliseres. Det anbefales derfor at arbeid med operasjonalisering settes i gang snarest. Dette kan gjøres på indikatorsettene som har inngått i pilotene. I tillegg bør indikatorer som ikke var med i piloten, men hvor operasjonalisering er mulig innen kort tid også inkluderes. Arbeidet med operasjonalisering kan gjøres parallelt med en fagfellelvurdering, der resultatene fra fagfellelvurderingen brukes til å justere fagsystemet, slik det bør gjøres med jevne mellomrom etter hvert som det bygges erfaring med anvendelse av systemet.

Sikring av datagrunnlaget

Vurdering av økosystemtilstand krever et godt datagrunnlag uansett protokoll. For arktisk tundra og arktisk del av Barentshavet har det gjennom lang tid vært lagt ned arbeid og ressurser for å bygge opp et tilstrekkelig datagrunnlag, delvis gjennom økosystembasert overvåkning. Det anbefales at det sikres rammer for at overvåkingen som danner grunnlag for fagsystemet kan videreføres og utvikles til i høyere grad å bygge på et økosystembasert design for å møte behovene og forvaltningsutfordringene som økosystem i endring skaper.

7 Vedlegg

Vedlegg 1: Teknisk protokoll for fagpanelprinsippet

Vedlegg 2: Utfylt fagpanelprotokoll for arktisk del av Barentshavet inkl. appendiks

Vedlegg 3: Utfylt fagpanelprotokoll for arktisk tundra inkl. appendikser

8 Referanser

- Aarflot, J.M., Skjoldal, H.R., Dalpadado, P. & Skern-Mauritzen, M. 2017. Contribution of Calanus species to the mesozooplankton biomass in the Barents Sea. *ICES Journal of Marine Science* 75(7): 2342-2354.
- ACIA. 2004. Impacts of a warming Arctic. Cambridge University Press, New York, USA.
- Anonym. 2011. Oppdatering av forvaltningsplanen for det marine miljø i Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten. Meld.St.10 (2010-2011).
- Anonym. 2013. Helhetlig forvaltning av det marine miljø i Nordsjøen og Skagerrak (forvaltningsplan). Meld.St. 37 (2012-2013).
- Anonym. 2017. Oppdatering av forvaltningsplanen for Norskehavet, Meld.St.35 (2016-2017).
- Arneberg, P. & van der Meeren, G.I. 2016. Status for miljøet i Norskehavet – rapport fra Overvåkingsgruppen 2016. Fisken og havet, særnr. 1b-2016.
- Arneberg, P. & Jelmert, A. 2017. Status for miljøet i Barentshavet - rapport fra Overvåkingsgruppen. Fisken og Havet. Havforskningsinstituttet.
- Arneberg, P., Børsheim, K.Y., Fauchald, P., Frie, A.K., Green, N., Lind, S., MacKenzie, K., van der Meeren, G.I., Nordgård, I.K. & Siwertsson, A. 2018a. Indikatorer for vurdering av økologisk tilstand i arktisk del av Barentshavet. Oppfølging av «Fagsystem for fastsetting av økologisk tilstand», arbeidsrapport utarbeidet av gruppe for hav
- Arneberg, P., van der Meeren, G.I. & Frantzen, S. 2018b. Status for miljøet og ytre påvirkning i Nordsjøen og Skagerrak – rapport fra Overvåkingsgruppen 2018. Fisken og Havet, særnummer 3-2018, Havforskningsinstituttet.
- Arneberg, P., Frantzen, S. & van der Meeren, G.I. 2019. Status for miljøet i Norskehavet. Rapport fra Overvåkingsgruppen 2019. Havforskningsinstituttet, Fisken og havet 2-2019
- Barbier, M. & Loreau, M. 2019. Pyramids and cascades: a synthesis of food chain functioning and stability. *Ecology Letters* 22(2): 405-419.
- Biuw, M., Jepsen, J.U., Cohen, J., Ahonen, S.H., Tejesvi, M., Aikio, S., Wali, P.R., Vindstad, O.P.L., Markkola, A., Niemela, P. & Ims, R.A. 2014. Long-term Impacts of Contrasting Management of Large Ungulates in the Arctic Tundra-Forest Ecotone: Ecosystem Structure and Climate Feedback. *Ecosystems* 17(5): 890-905.
- Bjørnstad, O.N., Ims, R.A. & Lambin, X. 1999. Spatial population dynamics: analyzing patterns and processes of population synchrony. *Trends in Ecology & Evolution* 14(11): 427-432.
- Browman, H.I. 2016. Applying organized scepticism to ocean acidification research Introduction. *Ices Journal of Marine Science* 73(3): 529-536.
- Bundy, A., Chuenpagdee, R., Boldt, J.L., Borges, M.D., Camara, M.L., Coll, M., Diallo, I., Fox, C., Fulton, E.A., Gazihan, A., Jarre, A., Jouffre, D., Kleisner, K.M., Knight, B., Link, J., Matiku, P.P., Masski, H., Moutopoulos, D.K., Piroddi, C., Raid, T., Sobrino, I., Tam, J., Thiao, D., Torres, M.A., Tsagarakis, K., van der Meeren, G.I. & Shin, Y.J. 2017. Strong fisheries management and governance positively impact ecosystem status. *Fish and Fisheries* 18(3): 412-439.
- Bye, T. & Hægeland, T. 2014. KPI 100 år. Økonomiske Analyser 2014: 3-5.

- CAFF. 2013. Arctic Biodiversity Assessment. Status and trends in Arctic biodiversity. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri.
- CAFF. 2017. State of the Arctic Marine Biodiversity Report. Conservation of Arctic Flora and Fauna. International Secretariat, Akureyri, Iceland. 978-9935-431-63-9
- CAVM Team. 2003. Circumpolar Arctic Vegetation Map. (1:7,500,000), Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF). U.S. Fish and Wildlife Service, Anchorage, Alaska.
- Chapin, F.S., Sturm, M., Serreze, M.C., McFadden, J.P., Key, J.R., Lloyd, A.H., McGuire, A.D., Rupp, T.S., Lynch, A.H., Schimel, J.P., Beringer, J., Chapman, W.L., Epstein, H.E., Euskirchen, E.S., Hinzman, L.D., Jia, G., Ping, C.L., Tape, K.D., Thompson, C.D.C., Walker, D.A. & Welker, J.M. 2005. Role of land-surface changes in Arctic summer warming. *Science* 310(5748): 657-660.
- Christensen, T., J. Payne, M. Doyle, G. Ibarguchi, J. Taylor, N.M. Schmidt, M. Gill, M. Svoboda, M. Aronsson, C. Behe, C. Buddle, C. Cuyler, A.M. Fosaa, A.D Fox, S. Heiðmarsson, P. Henning Krogh, J. Madsen, D. McLennan, J. Nymand, C. Rosa, J. Salmela, R. Shuchman, M. Soloviev & Wedege, M. 2013. The Arctic Terrestrial Biodiversity Monitoring Plan. CAFF Monitoring Series Report Nr. 7. CAFF International Secretariat. Akureyri, Iceland.
- Clements, C.F. & Ozgul, A. 2018. Indicators of transitions in biological systems. *Ecology Letters* 21(6): 905-919.
- Cohen, J., Pulliainen, J., Menard, C.B., Johansen, B., Oksanen, L., Luojus, K. & Ikonen, J. 2013. Effect of reindeer grazing on snowmelt, albedo and energy balance based on satellite data analyses. *Remote Sensing of Environment* 135: 107-117.
- Coll, M., Shannon, L.J., Kleisner, K.M., Juan-Jorda, M.J., Bundy, A., Akoglu, A.G., Banaru, D., Boldt, J.L., Borges, M.F., Cook, A., Diallo, I., Fu, C., Fox, C., Gascuel, D., Gurney, L.J., Hattab, T., Heymans, J.J., Jouffre, D., Knight, B.R., Kucukavsar, S., Large, S.I., Lynam, C., Machias, A., Marshall, K.N., Masski, H., Ojaveer, H., Piroddi, C., Tam, J., Thiao, D., Thiaw, M., Torres, M.A., Travers-Trolet, M., Tsagarakis, K., Tuck, I., van der Meeren, G.I., Yemane, D., Zador, S.G. & Shin, Y.J. 2016. Ecological indicators to capture the effects of fishing on biodiversity and conservation status of marine ecosystems. *Ecological Indicators* 60: 947-962.
- Cosier, P. & McDonald, J. 2010. A common currency for building environmental (ecosystem) accounts. In: 16th Meeting of the London Group on Environmental Accounting.
- Cramer, W., Yohe, G.W., Auffhammer, M., Huggel, C., Molau, U., da Silva Dias, M.A.F., Solow, A., Stone, D.A. & Tibig, L. 2014. Detection and attribution of observed impacts. . I: Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R. & White, L. L. (red.) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press,, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. S. 979-1037.
- Crooks, K.R. & Soulé, M.E. 1999. Mesopredator release and avifaunal extinctions in a fragmented system. *Nature* 400(6744): 563-566.
- Czúcz, B., Keith, H., Jackson, B., Maes, J., Driver, A., Nicholson, E. & Bland, L. 2019. Discussion paper 2.3: Proposed typology of condition variables for ecosystem accounting and criteria for selection of condition variables. Page 23. Paper submitted to the SEEA EEA Technical Committee as input to the revision of the technical recommendations in support of the System on Environmental-Economic Accounting.

- Dakos, V., Carpenter, S.R., van Nes, E.H. & Scheffer, M. 2015. Resilience indicators: prospects and limitations for early warnings of regime shifts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 370(1659).
- Dalpadado, P., Ingvaldsen, R.B., Stige, L.C., Bogstad, B., Knutsen, T., Ottersen, G. & Ellertsen, B. 2012. Climate effects on Barents Sea ecosystem dynamics. *Ices Journal of Marine Science* 69(7): 1303-1316.
- Dalpadado, P., Arrigo, K.R., Hjollo, S.S., Rey, F., Ingvaldsen, R.B., Sperfeld, E., van Dijken, G.L., Stige, L.C., Olsen, A. & Ottersen, G. 2014. Productivity in the Barents Sea - Response to Recent Climate Variability. *Plos One* 9(5).
- Degen, R., Aune, M., Bluhm, B.A., Cassidy, C., Kedra, M., Kraan, C., Vandepitte, L., Wlodarska-Kowalczyk, M., Zhulay, I., Albano, P.G., Bremner, J., Grebmeier, J.M., Link, H., Morata, N., Nordstrom, M.C., Shojaei, M.G., Sutton, L. & Zuschin, M. 2018. Trait-based approaches in rapidly changing ecosystems: A roadmap to the future polar oceans. *Ecological Indicators* 91: 722-736.
- Descamps, S., Aars, J., Fuglei, E., Kovacs, K.M., Lydersen, C., Pavlova, O., Pedersen, A.O., Ravolainen, V. & Strom, H. 2017. Climate change impacts on wildlife in a High Arctic archipelago - Svalbard, Norway. *Global Change Biology* 23(2): 490-502.
- Doney, S.C. & Sailley, S.F. 2013. When an ecological regime shift is really just stochastic noise. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(7): 2438-2439.
- Drescher, M. & Edwards, R.C. 2019. A systematic review of transparency in the methods of expert knowledge use. *Journal of Applied Ecology* 56(2): 436-449.
- Elmendorf, S.C., Henry, G.H.R., Hollister, R.D., Bjork, R.G., Bjorkman, A.D., Callaghan, T.V., Collier, L.S., Cooper, E.J., Cornelissen, J.H.C., Day, T.A., Fosaa, A.M., Gould, W.A., Gretarsdottir, J., Harte, J., Hermanutz, L., Hik, D.S., Hofgaard, A., Jarrad, F., Jonsdottir, I.S., Keuper, F., Klanderud, K., Klein, J.A., Koh, S., Kudo, G., Lang, S.I., Loewen, V., May, J.L., Mercado, J., Michelsen, A., Molau, U., Myers-Smith, I.H., Oberbauer, S.F., Pieper, S., Post, E., Rixen, C., Robinson, C.H., Schmidt, N.M., Shaver, G.R., Stenstrom, A., Tolvanen, A., Totland, O., Troxler, T., Wahren, C.H., Webber, P.J., Welker, J.M. & Wookey, P.A. 2012. Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: heterogeneity over space and time. *Ecology Letters* 15(2): 164-175.
- Elmendorf, S.C., Henry, G.H.R., Hollister, R.D., Fosaa, A.M., Gould, W.A., Hermanutz, L., Hofgaard, A., Jonsdottir, I.S., Jorgenson, J.C., Levesque, E., Magnusson, B., Molau, U., Myers-Smith, I.H., Oberbauer, S.F., Rixen, C., Tweedie, C.E. & Walker, M. 2015. Experiment, monitoring, and gradient methods used to infer climate change effects on plant communities yield consistent patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112(2): 448-452.
- Elven, R. (red.) 2019. Pan-Arctic Flora Checklist. <http://panarcticflora.org/>
- Eriksen, E. 2017. Dynamics of the Barents Sea pelagic compartment: species distributions, interactions and response to climate variability. Doctor Philosophiae. University of Bergen.
- Eriksen, E., Skjoldal, H.R., Gjosaeter, H. & Primicerio, R. 2017. Spatial and temporal changes in the Barents Sea pelagic compartment during the recent warming. *Progress in Oceanography* 151: 206-226.
- Faglig forum for norske havområder. 2019a. Sammendrag av det faglige grunnlaget for revisjon og oppdatering av forvaltningsplanene for havområdene. M-1350/2019.

- Faglig forum for norske havområder. 2019b. Samlet påvirkning og miljøkonsekvenser: Faggrunnlag for revisjon av forvaltningsplanen for Barentshavet og havområdene utenfor Lofoten. M-1299 2019
- Faglig forum for norske havområder. 2019c. Vurdering av måloppnåelse: Faggrunnlag for revisjon og oppdatering av forvaltningsplanene for norske havområder. Rapport M-1302 2019.
- Fauchald, P., Arneberg, P., Berge, J., Gerland, S., Kovacs, K.M., Reigstad, M. & Sundet, J.H. 2014. An assessment of MOSJ - The state of the marine environment around Svalbard and Jan Mayen. Norwegian Polar Institute Report Series
- Feio, M.J., Calapez, A.R., Elias, C.L., Cortes, R.M.V., Grata, M.A.S., Pinto, P. & Almeida, S.F.P. 2016. The paradox of expert judgment in rivers ecological monitoring. *Journal of Environmental Management* 184: 609-616.
- Fossheim, M., Primicerio, R., Johannesen, E., Ingvaldsen, R.B., Aschan, M.M. & Dolgov, A.V. 2015. Recent warming leads to a rapid borealization of fish communities in the Arctic. *Nature Clim. Change* 5(7): 673-677.
- Frainer, A., Primicerio, R., Kortsch, S., Aune, M., Dolgov, A.V., Fossheim, M. & Aschan, M.M. 2017. Climate-driven changes in functional biogeography of Arctic marine fish communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(46): 12202-12207.
- Framstad, E. (red.) 2015. Naturindeks for Norge 2015. Tilstand og utvikling for biologisk mangfold. Miljødirektoratet Rapport M-441 | 2015. Miljødirektoratet.
- Fu, C.H., Large, S., Knight, B., Richardson, A.J., Bundy, A., Reygondeau, G., Boldt, J., van der Meeren, G.I., Torres, M.A., Sobrino, I., Auber, A., Travers-Trolet, M., Piroddi, C., Diallo, I., Jouffre, D., Mendes, H., Borges, M.F., Lynam, C.P., Coll, M., Shannon, L.J. & Shin, Y.J. 2015. Relationships among fisheries exploitation, environmental conditions, and ecological indicators across a series of marine ecosystems. *Journal of Marine Systems* 148: 101-111.
- Fuglei, E., Stien, A., Yoccoz, N.G., Ims, R.A., Eide, N.E., Prestrud, P., Deplazes, P. & Oksanen, A. 2008. Spatial distribution of *Echinococcus multilocularis*, Svalbard, Norway. *Emerging Infectious Diseases* 14(1): 73-75.
- Groffman, P., Baron, J., Blett, T., Gold, A., Goodman, I., Gunderson, L., Levinson, B., Palmer, M., Paerl, H., Peterson, G., Poff, N., Rejeski, D., Reynolds, J., Turner, M., Weathers, K. & Wiens, J. 2006. Ecological thresholds: The key to successful environmental management or an important concept with no practical application? *Ecosystems* 9(1): 1-13.
- Guegan, E.B.M. & Christiansen, H.H. 2017. Seasonal Arctic Coastal Bluff Dynamics in Adventfjorden, Svalbard. *Permafrost and Periglacial Processes* 28(1): 18-31.
- Gullestad, P., Aglen, A., Bjordal, A., Blom, G., Johansen, S., Krog, J., Misund, O.A. & Rottingen, I. 2014. Changing attitudes 1970-2012: evolution of the Norwegian management framework to prevent overfishing and to secure long-term sustainability. *Ices Journal of Marine Science* 71(2): 173-182.
- Gullestad, P., Abotnes, A.M., Bakke, G., Skern-Mauritzen, M., Nedreaas, K. & Søvik, G. 2017. Towards ecosystem-based fisheries management in Norway – Practical tools for keeping track of relevant issues and prioritising management efforts. *Marine Policy* 77: 104-110.
- Halpern, B.S., Longo, C., Hardy, D., McLeod, K.L., Samhouri, J.F., Katona, S.K., Kleisner, K., Lester, S.E., O'Leary, J., Ranelletti, M., Rosenberg, A.A., Scarborough, C., Selig, E.R., Best, B.D., Brumbaugh, D.R., Chapin, F.S., Crowder, L.B., Daly, K.L., Doney, S.C., Elfes, C., Fogarty, M.J., Gaines, S.D., Jacobsen, K.I., Karrer, L.B., Leslie, H.M., Neeley, E., Pauly, D., Polasky, S., Ris, B., St Martin, K., Stone, G.S., Sumaila, U.R. & Zeller, D. 2012. An index to assess the health and benefits of the global ocean. *Nature* 488(7413): 615-+.

- Hansen, B.B., Gamelon, M., Albon, S.D., Lee, A.M., Stiew, A., Irvine, R.J., Saether, B.E., Loe, L.E., Ropstad, E., Veiberg, V. & Grotan, V. 2019. More frequent extreme climate events stabilize reindeer population dynamics. *Nature Communications* 10.
- Hansen, C., Skern-Mauritzen, M., van der Meeren, G.I., Jähkel, A. & Drinkwater, K. 2016. Set-up of the Nordic and Barents Seas (NoBa) Atlantis model. *Fisken og Havet*, nr. 2 2016. Havforskningsinstituttet.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Lawrence, D., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. & Ådlandsvik, B. (red.) 2015. Climate in Norway 2100 - a knowledge base for climate adaptation. Norsk klimaservicesenter (NKSS)/Norwegian Centre for Climate Services (NCCS)
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E., Hisdal, H., Mayer, S., Sandø, A. & Sorteberg, A. (red.) 2019. Climate in Svalbard 2100 – a knowledge base for climate adaptation. Norsk klimaservicesenter (NKSS)/Norwegian Centre for Climate Services (NCCS)
- Hays, G.C., Richardson, A.J. & Robinson, C. 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution* 20(6): 337-344.
- Huse, G., Skern-Mauritzen, M., Bogstad, B., Sandberg, P., Ottemo, T., Veim, A.K., E., S. & Bertelsen, B. 2018. Muligheter og prioriteringer for flerbestandsforvaltning i norske fiskerier. *Fisken og havet*, 7-2018.
- ICES. 2018. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE), 28 August- 3 September 2018, Torshavn, Faroe Islands. ICES CM 2018/ACOM: 23. 488 pp.
- ICES. 2019. Report of the Working Group on Integrated Ecosystem Assessments for the Norwegian Sea (WGINOR). ICES WGINOR REPORT 2018 26-30 November 2018. Reykjavik, Iceland
- Ims, R., Ehrich, D., Forbes, B., Huntley, B., Walker, D., Wookey, P., Berteaux, D., Bhatt, U., Bråthen, K., Edwards, M., Epstein, H., Forchhammer, M., Fuglei, E., Gauthier, G., Gilbert, S., Leung, M., Menyushina, I., Ovsyanikov, N., Post, E., Reynolds, M., Reid, D., Schmidt, N., Stien, A., Sumina, O. & Van der Wal, R. 2013. Terrestrial Ecosystems. I: Meltotte, H. (red.) Arctic Biodiversity Assessment. Status and trends in Arctic biodiversity. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. S. 385-440.
- Ims, R.A., Alsos, I.G., E. Fuglei, Pedersen, Å.Ø. & Yoccoz, N.G. 2014. An assessment of MOSJ. The state of the terrestrial environment in Svalbard. Norsk Polarinstitutt Rapportserie / Report Series no. 144
- IPBES. 2018. IPBES Guide on the production of assessments. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Jackson, W., Argent, R., Bax, N., Bui, E., Clark, G., Coleman, S., Cresswell, I., Emmerson, K., Evans, K., Hibberd, M., Johnston, E., Keywood, M., Klekociuk, A., Mackay, R., Metcalfe, D., Murphy, H., Rankin, A., Smith, D. & Wienecke, B. 2016. Overview. In: Australia state of the environment 2016. Australian Government Department of the Environment and Energy, Canberra, <https://soe.environment.gov.au/theme/overview>, DOI 10.4226/94/58b65510c633b.
- Jakobsen, T. & Ozhigin, V.K. 2011. The Barents Sea: Ecosystem, Resources, Management: Half a century of Russian-Norwegian Cooperation. Fagbokforlaget.
- Jepsen, J.U., Ims, R.A. & Yoccoz, N.G. 2018. Indikatorer for god økologisk tilstand for arktisk tundra. Underveisrapport til Miljødirektoratet juni 2018

- Jørgensen, L.L., Primicerio, R., Ingvaldsen, R.B., Fossheim, M., Strelkova, N., Thangstad, T.H., Manushin, I. & Zakharov, D. 2019. Impact of multiple stressors on sea bed fauna in a warming Arctic. *Marine Ecology Progress Series* 608: 1-12.
- Keith, H., Maes, J., Czúcz, B., Jackson, B., Driver, A., Bland, L. & Nicholson, E. 2019. Discussion paper 2.1: Purpose and role of ecosystem condition accounts. Page 34. Paper submitted to the SEEA EEA Technical Committee as input to the revision of the technical recommendations in support of the System on Environmental-Economic Accounting. Version of 13 March 2019.
- Kleisner, K.M., Coll, M., Lynam, C.P., Bundy, A., Shannon, L., Shin, Y.J., Boldt, J.L., Borges, M.F., Diallo, I., Fox, C., Gascuel, D., Heymans, J.J., Jorda, M.J.J., Jouffre, D., Large, S.I., Marshall, K.N., Ojaveer, H., Piroddi, C., Tam, J., Torres, M.A., Travers-Trolet, M., Tsagarakis, K., van der Meeren, G.I. & Zador, S. 2015. Evaluating changes in marine communities that provide ecosystem services through comparative assessments of community indicators. *Ecosystem Services* 16: 413-429.
- Kleiven, E.F., Henden, J.A., Ims, R.A. & Yoccoz, N.G. 2018. Seasonal difference in temporal transferability of an ecological model: near-term predictions of lemming outbreak abundances. *Scientific Reports* 8.
- Kortsch, S., Primicerio, R., Beuchel, F., Renaud, P.E., Rodrigues, J., Lonne, O.J. & Gulliksen, B. 2012. Climate-driven regime shifts in Arctic marine benthos. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(35): 14052-14057.
- Kortsch, S., Primicerio, R., Fossheim, M., Dolgov, A.V. & Aschan, M. 2015. Climate change alters the structure of arctic marine food webs due to poleward shifts of boreal generalists. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 282(1814): 31-39.
- Lehikoinen, A., Green, M., Husby, M., Kalas, J.A. & Lindstrom, A. 2014. Common montane birds are declining in northern Europe. *Journal of Avian Biology* 45(1): 3-14.
- Leibold, M.A., Holyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chase, J.M., Hoopes, M.F., Holt, R.D., Shurin, J.B., Law, R., Tilman, D., Loreau, M. & Gonzalez, A. 2004. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters* 7(7): 601-613.
- Liebhold, A., Koenig, W.D. & Bjørnstad, O.N. 2004. Spatial Synchrony in Population Dynamics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35(1): 467-490.
- Lillegard, M., Engen, S. & Saether, B.E. 2005. Bootstrap methods for estimating spatial synchrony of fluctuating populations. *Oikos* 109(2): 342-350.
- Lind, S., Ingvaldsen, R.B. & Furevik, T. 2018. Arctic warming hotspot in the northern Barents Sea linked to declining sea-ice import. *Nature Climate Change*.
- Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Freeman, P.T. & Field, C.B. 2017. Unleashing expert judgment in assessment. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 44: 1-14.
- Maes, J., Driver, A., Czúcz, B., Keith, H., Jackson, B., Bland, L., Nicholson, E. & Dasoo, M. 2019. Discussion paper 2.2: Review of ecosystem condition accounting case studies: Lessons learned and options for developing condition accounts. Page 25. Paper submitted to the SEEA EEA Technical Committee as input to the revision of the technical recommendations in support of the System on Environmental-Economic Accounting. Version of 13 March 2019.
- Marolla, F., Aarvak, T., Øien, I.J., Mellard, J.P., Henden, J.-A., Hamel, S., Stien, A., Tveraa, T., Yoccoz, N.G. & Ims, R.A. 2019. Assessing the effect of predator control on an endangered goose population subjected to predator-mediated food web dynamics. *Journal of Applied Ecology*.

- Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Edenhofer, O., Stocker, T.F., Field, C.B., Ebi, K.L. & Matschoss, P.R. 2011. The IPCC AR5 guidance note on consistent treatment of uncertainties: a common approach across the working groups. *Climatic Change* 108(4): 675-691.
- McBride, M.M., Hansen, J.R., Korneev, O. & Titov, O. 2016. Joint Norwegian - Russian environmental status 2013. Report on the Barents Sea Ecosystem. Part II - Complete report. 2016 (2). IMR/PINRO Joint Report Series
- McCann, K.S., Rasmussen, J.B. & Umbanhowar, J. 2005. The dynamics of spatially coupled food webs. *Ecology Letters* 8(5): 513-523.
- McQuatters-Gollop, A., Mitchell, I., Vina-Herbon, C., Bedford, J., Addison, P.F.E., Lynam, C.P., Geetha, P.N., Vermeulan, E.A., Smit, K., Bayley, D.T.I., Morris-Webb, E., Niner, H.J. & Otto, S.A. 2019. From Science to Evidence – How Biodiversity Indicators Can Be Used for Effective Marine Conservation Policy and Management. *Frontiers in Marine Science* 6: 109.
- Melle, W. & Skjoldal, H.R. 1998. Reproduction and development of *Calanus finmarchicus*, *C. glacialis* and *C. hyperboreus* in the Barents Sea.
- Miller, J.R., Turner, M.G., Smithwick, E.A.H., Dent, C.L. & Stanley, E.H. 2004. Spatial extrapolation: The science of predicting ecological patterns and processes. *Bioscience* 54(4): 310-320.
- Morgan, M.G. 2014. Use (and abuse) of expert elicitation in support of decision making for public policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111(20): 7176-7184.
- Mupepele, A.C., Walsh, J.C., Sutherland, W.J. & Dormann, C.F. 2016. An evidence assessment tool for ecosystem services and conservation studies. *Ecological Applications* 26(5): 1295-1301.
- Mørk, T., Bohlin, J., Fuglei, E., Asbakk, K. & Tryland, M. 2011. Rabies in the arctic fox population, Svalbard, Norway. *Journal of Wildlife Diseases* 47(4): 945-957.
- Niskanen, A.K.J., Niittynen, P., Aalto, J., Väre, H. & Luoto, M. 2019. Lost at high latitudes: Arctic and endemic plants under threat as climate warms. *Diversity and Distributions* 25(5): 809-821.
- Nybø, S. & Evju, M. 2017. Fagsystem for fastsetting av god økologisk tilstand. Forslag fra et ekspertråd. Ekspertrådet for økologisk tilstand, 247 s. Norsk institutt for naturforskning.
- Nybø, S., Evju, M., Framstad, E., Lyngstad, A., Pedersen, C., Sickel, H., Sverdrup-Thygeson, A., Topper, J., Vandvik, V., Velle, L.G. & Aarrestad, P.A. 2018. Operasjonalisering av fagsystem for økologisk tilstand for terrestre økosystemer. NINA rapport 1536.
- Nybø, S., Framstad, E., Jakobsson, S., Evju, M., Lyngstad, A., Sickel, H., Sverdrup-Thygeson, A., Tøpper, J., Vandvik, V., Velle, L.G. & Aarrestad, P.A. 2019. Test av fagsystemet for økologisk tilstand for terrestriske økosystemer i Trøndelag. NINA rapport 1672. Norsk institutt for naturforskning.
- OECD. 2003. OECD Environmental indicators. Development, measurement and use. OECD Reference Papers.
- Overland, J.E. & Wang, M.Y. 2007. Future regional Arctic sea ice declines. *Geophysical Research Letters* 34(17).
- Overland, J.E., Wang, M.Y. & Box, J.E. 2019. An integrated index of recent pan-Arctic climate change. *Environmental Research Letters* 14(3).

- Pedersen, B., Bjerke, J.W., Pedersen, H.C., Brandrud, T.E., Gjershaug, J.O., Hanssen, O., Lyngstad, A. & Øien, D.-I. 2018. Naturindeks for Norge – fjell og våtmark. Evaluering av eksisterende indikatorsett, dets datagrunnlag og behovet for ytterligere tilfang av datakilder. NINA Rapport 1462, Norsk institutt for naturforskning
- Pedersen, Å.Ø., Speed, J.D.M. & Tombre, I.M. 2013a. Prevalence of pink-footed goose grubbing in the arctic tundra increases with population expansion. *Polar Biology* 36(11): 1569-1575.
- Pedersen, Å.Ø., Tombre, I., Jepsen, J.U., Eidesen, P.B., Fuglei, E. & Stien, A. 2013b. Spatial patterns of goose grubbing suggest elevated grubbing in dry habitats linked to early snowmelt. *Polar Research* 32(19719).
- Planque, B. 2016. Projecting the future state of marine ecosystems, “la grande illusion”? . *ICES Journal of Marine Science* 73: 204-208.
- Post, E., Forchhammer, M.C., Bret-Harte, M.S., Callaghan, T.V., Christensen, T.R., Elberling, B., Fox, A.D., Gilg, O., Hik, D.S., Høye, T.T., Ims, R.A., Jeppesen, E., Klein, D.R., Madsen, J., McGuire, A.D., Rysgaard, S., Schindler, D.E., Stirling, I., Tamstorf, M.P., Tyler, N.J.C., van der Wal, R., Welker, J., Wookey, P.A., Schmidt, N.M. & Aastrup, P. 2009. Ecological Dynamics Across the Arctic Associated with Recent Climate Change. *Science* 325(5946): 1355-1358.
- Ravolainen, V.T., Brathen, K.A., Yoccoz, N.G., Nguyen, J.K. & Ims, R.A. 2014. Complementary impacts of small rodents and semi-domesticated ungulates limit tall shrub expansion in the tundra. *Journal of Applied Ecology* 51(1): 234-241.
- Renaut, S., Devred, E. & Babin, M. 2018. Northward Expansion and Intensification of Phytoplankton Growth During the Early Ice-Free Season in Arctic. *Geophysical Research Letters*.
- Roman, J. & Palumbi, S.R. 2003. Whales before whaling in the North Atlantic. *Science* 301(5632): 508-510.
- Rudd, M.A. 2014. Scientists' perspectives on global ocean research priorities. *Frontiers in Marine Science* 1.
- Rønnevik, P.S. 2014. Flere mål på underliggende prisvekst i Norge. *Økonomiske Analyser* 2014:26-33.
- Samhouri, J.F., Andrews, K.S., Fay, G., Harvey, C.J., Hazen, E.L., Hennessey, S.M., Holsman, K., Hunsicker, M.E., Large, S.I., Marshall, K.N., Stier, A.C., Tam, J.C. & Zador, S.G. 2017. Defining ecosystem thresholds for human activities and environmental pressures in the California Current. *Ecosphere* 8(6).
- Sbrocchi, C., Cosier, P., Davis, R., Grundy, M., Harding, R., Hillman, T., Mount, R., Possingham, H., Saunders, D.A., Smith, T., Thackway, R., Thom, B. & Williams, J. 2015. Australian Regional Environmental Accounts Trial: Technical Analysis. Wentworth Group of Concerned Scientists in association with NRM Regions Australia, Sydney, Australia.
- Segurado, P., Santos, J.M., Pont, D., Melcher, A.H., Jalon, D.G., Hughes, R.M. & Ferreira, M.T. 2011. Estimating species tolerance to human perturbation: Expert judgment versus empirical approaches. *Ecological Indicators* 11(6): 1623-1635.
- Shephard, S., Greenstreet, S.P.R., Piet, G.J., Rindorf, A. & Dickey-Collas, M. 2015. Surveillance indicators and their use in implementation of the Marine Strategy Framework Directive. *Ices Journal of Marine Science* 72(8): 2269-2277.
- Skaug, H.J., Frimannslund, L. & Oien, N.I. 2007. Historical population assessment of Barents Sea harp sea's (*Pagophilus groenlandicus*). *Ices Journal of Marine Science* 64(7): 1356-1365.

- Skjoldal, H.R.e. 2004. The Norwegian Sea Ecosystem. Tapir Academic Press.
- Skogen, M.D., Olsen, A., Børsheim, K.Y., Sandø, A.B. & Skjelvan, I. 2014. Modelling ocean acidification in the Nordic and Barents Seas in present and future climate. *Journal of Marine Systems* 131: 10-20.
- Soininen, E.M., Fuglei, E. & Pedersen, A.O. 2016. Complementary use of density estimates and hunting statistics: different sides of the same story? *European Journal of Wildlife Research* 62(2): 151-160.
- Soininen, E.M., Henden, J.A., Ravolainen, V.T., Yoccoz, N.G., Brathen, K.A., Killengreen, S.T. & Ims, R.A. 2018. Transferability of biotic interactions: Temporal consistency of arctic plant-rodent relationships is poor. *Ecology and Evolution* 8(19): 9697-9711.
- Stone, D., Auffhammer, M., Carey, M., Hansen, G., Huggel, C., Cramer, W., Lobell, D., Molau, U., Solow, A., Tibig, L. & Yohe, G. 2013. The challenge to detect and attribute effects of climate change on human and natural systems. *Climatic Change* 121(2): 381-395.
- Swann, A.L., Fung, I.Y., Levis, S., Bonan, G.B. & Doney, S.C. 2010. Changes in Arctic vegetation amplify high-latitude warming through the greenhouse effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107(4): 1295-1300.
- van der Meeren, G.I. & Prozorkevich, D. 2019. Survey report from the joint Norwegian/Russian ecosystem survey in the Barents Sea and adjacent waters, August-October 2018. IMR/PINRO Joint Report Series 2, 2019
- van der Wal, R. & Stien, A. 2014. High-arctic plants like it hot: a long-term investigation of between-year variability in plant biomass. *Ecology* 95(12): 3414-3427.
- Vikhamar-Schuler, D., Førland, E.J., Lutz, J. & Gjeltén, H.M. 2019. Evaluation of downscaled reanalysis and observations for Svalbard - Background report for Climate in Svalbard 2100. Norwegian Centre for Climate Service (NCCS).
- Vindstad, O.P.L., Jepsen, J.U., Klinghardt, M., Ek, M. & Ims, R.A. 2017. Salvage logging of mountain birch after geometrid outbreaks: Ecological context determines management outcomes. *Forest Ecology and Management* 405: 81-91.
- Vindstad, O.P.L., Jepsen, J.U., Ek, M., Pepi, A. & Ims, R.A. 2019. Can novel pest outbreaks drive ecosystem transitions in northern-boreal birch forest? *Journal of Ecology* 107: 1141–1153.
- Wentworth Group. 2008. Accounting for Nature. A model for building the National Environmental Accounts of Australia. Wentworth Group, Sydney, Australia.
- Wentworth Group. 2016. Accounting for Nature. A scientific method for constructing environmental asset condition accounts. Wentworth Group of Concerned Scientists.
- Whittier, T.R., Stoddard, J.L., Larsen, D.P. & Herlihy, A.T. 2007. Selecting reference sites for stream biological assessments: best professional judgment or objective criteria. *Journal of the North American Benthological Society* 26(2): 349-360.
- Wiedmann, M.A., Aschan, M., Certain, G., Dolgov, A., Greenacre, M., Johannesen, E., Planque, B. & Primicerio, R. 2014. Functional diversity of the Barents Sea fish community. *Marine Ecology Progress Series* 495: 205-+.
- Wiens, J.A. 1989. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology* 3: 385-397.
- Woodroffe, R. & Ginsberg, J.R. 1998. Edge Effects and the Extinction of Populations Inside Protected Areas. *Science* 280(5372): 2126-2128.

- Yates, K.L., Bouchet, P.J., Caley, M.J., Mengersen, K., Randin, C.F., Parnell, S., Fielding, A.H., Bamford, A.J., Ban, S., Barbosa, A.M., Dormann, C.F., Elith, J., Embling, C.B., Ervin, G.N., Fisher, R., Gould, S., Graf, R.F., Gregr, E.J., Halpin, P.N., Heikkinen, R.K., Heinänen, S., Jones, A.R., Krishnakumar, P.K., Lauria, V., Lozano-Montes, H., Mannocci, L., Mellin, C., Mesgaran, M.B., Moreno-Amat, E., Mormede, S., Novaczek, E., Oppel, S., Ortuño Crespo, G., Peterson, A.T., Rapacciuolo, G., Roberts, J.J., Ross, R.E., Scales, K.L., Schoeman, D., Snelgrove, P., Sundblad, G., Thuiller, W., Torres, L.G., Verbruggen, H., Wang, L., Wenger, S., Whittingham, M.J., Zharikov, Y., Zurell, D. & Sequeira, A.M.M. 2018. Outstanding Challenges in the Transferability of Ecological Models. *Trends in Ecology & Evolution* 33(10): 790-802.
- Yodzis, P. 1988. The indeterminacy of ecological interactions as perceived through perturbation experiments. *Ecology* 69(2): 508-515.

Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.

NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i Rogaland.

NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-3421-4

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger