

Tilstandsklassifisering av makroalger i sjøsonen. Revidering av komboindeksen.



Hovedkontor

Økernveien 94
0579 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Internett: www.niva.no

Tittel Tilstandsklassifisering av makroalger i sjøsonen. Revidering av komboindeksen.	Løpenummer 7888-2023	Dato 1.9.2023
Forfatter(e) Camilla With Fagerli, Mats Walday, Janne Gitmark	Fagområde Marin biologi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Norge	Sider 30 + Vedlegg

Oppdragsgiver(e) Miljødirektoratet	Kontaktperson hos oppdragsgiver Ingrid Handå Bysveen
Oppdragsgivers utgivelse: Miljødirektoratets rapport M-2573 2023	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 220228

Sammendrag

Komboindeksen er en klassifiseringsindeks for makroalger som baserer seg på vurderinger av makroalgesamfunnets tilstand i fjæresonen kombinert med vurderinger i sjøsonen. Komboindeksen har blitt utprøvd gjennom Miljødirektoratets ØKOKYST program siden 2017. Det er ønskelig å tilpasse komboindeksen slik at den kan inkluderes som indeks for tilstandsvurdering av makroalgesamfunn i klassifiseringsveilederen. Basert på nåværende kunnskapsgrunnlag foreslås det å inkludere nedre voksedyp for sukkertare og beitetrykk fra kråkeboller som vurderingsparametere for økologisk tilstandsvurdering i en revidert utgave av komboindeksen. For å undersøke sammenhengen mellom organisk belastning og masseforekomster av filtrerende organismer bør forekomsten av filtrerende organismer registreres systematisk under datainnsamling for komboindeksen.

Fire emneord	Four keywords
1. Makroalger	1. Macroalgae
2. Økologisk tilstand	2. Ecological status
3. Miljøovervåking	3. Environmental monitoring
4. Vannforskriften	4. Water Framework Directive

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Prosjektleder/Hovedforfatter

Camilla With Fagerli

Kvalitetssikrer

ISBN 978-82-577- 7624-4
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

Forskningsleder

Paul R. Berg

© Norsk institutt for vannforskning og Miljødirektoratet. Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

Tilstandsklassifisering av makroalger i sjøsonen.
Revidering av komboindeksen

Forord

Denne rapporten er skrevet på oppdrag fra Miljødirektoratet og viderefører utviklingsarbeid fra NIVA-rapport «Evaluering av komboindeksens egnethet for tilstandsklassifisering av makroalger i sjøsonen» (Fagerli mfl. 2022). I rapporten utredes og testes vurderingsparametere som er foreslått inkludert i komboindeksen for å øke dens utsagnskraft samt dekke flere typer av påvirkning på makroalgesamfunn. Rapporten gir en faglig vurdering av hvordan komboindeksen bør tilpasses før den eventuelt inkluderes som et gyldig klassifiseringsverktøy for makroalger i klassifiseringsveilederen for miljøtilstand i vann (Veileder 02-2018).

Kontaktperson hos Miljødirektoratet har vært Ingrid Handå Bysveen (avtalenummer: 22047034).

Oslo, 30.07.2023

Camilla With Fagerli

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	8
1.1	Økologisk tilstandsvurdering i henhold til vannforskriften	8
1.2	Introduksjon til komboindeksen	9
1.3	Mål for prosjektet	9
1.4	Kort om beregning av komboindeksen.....	10
2	Nedre voksegrense for sukkertare som ny vurderingsparameter?	11
2.1	Datagrunnlag for etablering av klassegrenser	11
2.2	Gjennomgang av eksisterende datamateriale for sukkertarens voksedyp	12
2.3	Statistiske analyser	13
2.4	Analyseresultater	13
2.5	Litteraturstudie – sukkertares voksedyp	13
2.5.1	Oppsummering av litteratur og vurdering av resultater	14
3	Forslag til endring i beregningsmetodikk for komboindeksen.....	14
4	Sammenheng mellom begroende organismer og partikkelkonsentrasjon	16
4.1	Litteratursøk - partikler og filtrerende organismer	16
4.1.1	Oppsummering av litteratur og vurdering av resultater	16
5	Vurdering av beitepåvirkning fra kråkeboller.....	18
5.1	Grunnlag for etablering av en beiteindeks	19
5.2	Forslag til effektvurdering av beitepress fra kråkeboller.....	20
5.3	Forslag til beiteindeks med to delkomponenter	20
6	Regneeksempel	22
7	Konklusjon	27
8	Referanser.....	29
	Statistikk	31
	Vitenskaplige artikler gjennomgått i litteraturstudie.....	31

Sammenheng

Komboindeksen er en klassifiseringsindeks for makroalger som er utviklet for påvirkningstypen eutrofi. Indeksen er to-delt og baserer seg på registreringer i fjæresonen (RSL/RSLA) i kombinasjon med registreringer i sjøsonen med droppkamera. I komboindeksens nåværende form inngår tre delparametere for tilstandsvurderingen av sjøsonen: nederste voksegrense for opprette alger (i praksis rødalgebeltet), nedre voksegrense for stortare, samt dybdeutbredelse av eventuelle masseforekomster av opportunistiske trådalger.

Komboindeksen har blitt utprøvd gjennom Miljødirektoratets ØKOKYST program siden 2017 og det er nå ønskelig at den inkluderes som indeks for tilstandsvurdering av makroalger i klassifiseringsveilederen (Veileder 02:2018). I en nylig evaluering av indeksens egnethet (se Fagerli m. fl. 2022) ble det foreslått å supplere indeksen med tre tilleggssparametere for tilstandsvurdering av sjøsonen, dette for å styrke komboindeksens utsagnskraft. De tre foreslått tilleggssparametere omfatter nedre voksegrense for sukkertare, masseforekomster av filtrerende organismer og beitepåvirkning fra kråkeboller. De faglige vurderinger og anbefalinger som gis i rapporten baserer seg på analyse av tidligere innsamlede data og fagfellevurdert vitenskapelig litteratur. Det presiseres imidlertid at datagrunnlaget for statistiske analyser av sukkertarens og stortarens voksedyp ikke er samlet inn med formål om sammenligning mellom artenes voksedyp.

Følgende justeringer av komboindeksen foreslås:

1. Klassegrenser utviklet for stortarens voksedyp kan også benyttes som grunnlag for tilstandsklassifisering av sukkertare innenfor økoregionene Nordsjøen Nord og Skagerrak og i vanntype 2 – «moderat eksponert kyst» og 3 – «beskyttet kyst/fjord».
2. Innenfor økoregion Nordsjøen Sør og for vanntype 1 – «bølgeeksponert kyst» viser eksisterende data en signifikant dypere nedre voksegrense for stortare enn for sukkertare. Klassegrenser basert på stortarens voksedyp kan benyttes for sukkertare, men vil være konservative for artens voksedyp. Sukkertare er imidlertid ikke vanlig forekommende på bølgeeksponert kyst og derfor ikke aktuell å inkludere som parameter for vanntype 1.
3. Det foreslås at prinsippene for beregning av komboindeksen beholdes, men at nedre voksedyp for sukkertare legges til som en undersøkelsesparameter sammen med stortare i vanntype 2-5 for alle økoregioner.
4. Høy begroing av filterende organismer kan ha negativ effekt på tareplanter og andre flerårige makroalgers tilstand gjennom skyggelegging og mekanisk skade av lamina. Trolig foreligger en positiv sammenheng mellom forekomst av filtrerende organismer og organiske partikler i vannmassene. For å øke kunnskapsgrunnlaget og for å følge utviklingen av begroing over tid, foreslås det at høy begroing av filtrerende organismer på tareplanter og andre fastsittende makroalger registreres systematisk som en tilleggssparameter under datainnsamling for komboindeksen. På bakgrunn av kunnskapmangel om økologiske årsaksammenhenger samt begrenset datagrunnlag anbefales det ikke å inkludere begroing av filtrerende organismer som en vurderingsparameter i komboindeksen per i dag.
5. På hardbunnslokaliteter der forekomster av kråkeboller påfører et høyt beitetrykk på makroalgesamfunnet, bør beitepåvirkning inngå i den samlede tilstandsvurderingen av lokaliteten.

Et regneeksempel er gitt i slutten av rapporten, hvor endringsforslagene er inkludert i tilstandsklassifisering av en reell hardbunnslokalitet.

Summary

Title: Environmental status of macroalgae community in the sublittoral zone. Revising the combo index.

Year: 2023

Author(s): Camilla With Fagerli, Janne Gitmark and Mats Walday

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7624-4

“Komboindeksen” is an index used for assessment of the ecological status of macroalgae in the shallow sublittoral zone. The index applies to the impact type eutrophication and is outlined as a two-part index based on quality assessments in the littoral zone (RSL/RSLA) in combination with visual assessments of the shallow part of the sublittoral zone applied with a drop-camera. Three sub-parameters are included in the index: 1 - the lower growth limit for upright macroalga (the red algae belt), 2 - the lower growth limit for tangle kelp and 3 - depth distribution for mass deposits of opportunistic, filamentous algae.

“Komboindeksen” has been tested in ØKOKYST since 2017. ØKOKYST is the national coastal monitoring program funded by the Norwegian Environmental Agency. Based on preliminary use and results from ecological quality assessments, the main goal of this report is to evaluate the suitability of the suggested index, and assess whether the index should be implemented as a quality assessment tool for macroalgae in the classification guide (Veileder 02:2018).

In a recent evaluation of the index's suitability (see Fagerli et al. 2022), it was proposed to supplement the index with three additional parameters for the assessment of ecological status, in order to strengthen the expressive power of the index. The three proposed additional parameters include the lower growth limit for sugar kelp, mass occurrences of filtering organisms and grazing impact from sea urchins. The recommendations given in this report are based on analysis of previously collected data and peer-reviewed scientific literature. However, it should be specified that the existing database of sugar kelp and tangle kelp has not been collected for the purpose of comparing the growth depths of the species.

The following adjustments to the index are proposed:

1. Class limits developed for the growth depth of the tangle kelp can be used as a basis for condition classification of sugar kelp within the ecoregions North Sea North and Skagerrak and in water type 2 - "moderately exposed coast" and 3 - "protected coast/fjord".
2. Within the North Sea South ecoregion and for water type 1 - "wave-exposed coast", existing data show a significantly deeper lower growth limit for tangle kelp than for sugar kelp. Class limits based on the growth depth of the tangle kelp can be used for sugar kelp but will be conservative for the species' growth depth. However, sugar kelp are not commonly found on wave-exposed coasts and are therefore not relevant to include as a parameter for water type 1.
3. It is proposed that the principles for calculating the combo index should be retained, but that the lower growth depth for sugar kelp should be added as a survey parameter together with tangle kelp in water types 2-5 for all ecoregions.
4. Considerable fouling by filtering organisms can have a negative effect on the condition of kelp plants and other perennial macroalgae through shading and mechanical damage to the lamina. It is hypothesized that there is a positive relationship between the occurrence of filtering organisms and organic particles in the water masses. In order to increase the knowledge base and to follow the development of fouling over time, it is proposed that high

level of fouling of filtering organisms on kelp plants and other sessile macroalgae is systematically recorded as an additional parameter during data collection for the combo index. It is currently not proposed to include fouling by filtering organisms as an assessment parameter.

5. On hard-bottom sites where occurrences of sea urchins exert a high grazing pressure on the macroalgae community, grazing impact should be included in the overall condition assessment of the site.

A calculation example is given at the end of the report, where the proposed changes are included.

1 Introduksjon

1.1 Økologisk tilstandsvurdering i henhold til vannforskriften

Som EØS-medlem er Norge forpliktet til å legge EUs Vanndirektiv (heretter kalt «vanndirektivet») til grunn for vannforvaltningen for kyst- og ferskvann. Direktivet ble vedtatt av EU i 2000 og av Norge i 2005, og er hjemlet i norsk lov gjennom forskrift om rammer for vannforvaltningen (heretter kalt «vannforskriften»). Hovedprinsippet i vannforskriften er at økologisk tilstand i en vannforekomst skal klassifiseres på grunnlag av de biologiske kvalitetselementene, med fysiske og kjemiske forhold som støtteparametere. Klassifiseringssystemet for kystvann omfatter fire biologiske kvalitetselementer; makroalger, angiospermer (ålegras), bunnlevende virvelløse dyr og planteplankton. For hvert av de biologiske kvalitetselementene er det utviklet indekser som skal være egnet til å måle responsen på en gitt påvirkning. For makroalger i kystvann er det utviklet indekser for påvirkningstypen eutrofi (overgjødning).

To indekser er inkludert i Veileder 02:2018 og benyttes for tilstandsklassifisering av makroalgesamfunn: algenes nedre voksegrense i sjøsonen (MSMDI) og artssammensetning i fjæresonen (fjæresoneindeksen), som enten beregnes med eller uten dekningsgrad, henholdsvis som RSLA og RSL. MSMDI benyttes for tilstandsklassifisering innenfor økoregion Skagerrak mens RSLA/RSL benyttes for tilstandsklassifisering av makroalger i øvrige økoregioner i Norge. Begge indekser er indikatorer for påvirkningstypen eutrofi.

Makroalgesamfunnet vil være sammensatt av de artene som til enhver tid er best tilpasset miljøforholdene i konkurranse med andre arter. Artssammensetning og sonering varierer ved forhold som lys, temperatur, saltholdighet, bølgeeksponering, strøm og næringstilgang. Dersom tilgangen til næring endres, vil også artssammensetningen i algesamfunnet endre seg. En situasjon med overgjødning kan føre til at hurtigvoksende trådformede alger, som raskt kan ta opp og utnytte næringssalter til vekst, får større utbredelse på bekostning av flerårige alger. Økt mengde næring medfører gjerne økt mengde partikler i vannet som gjør lysforholdene dårligere slik at makroalgene ikke kan vokse like dypt som i klart vann.

Den økologiske miljøtilstanden som indeksverdien skal gjenspeile er basert på et lite utvalg av parametere som benyttes for å si noe om tilstanden på samfunnsnivå. Begrensninger ved indeksene gjør dermed at avvik kan forekomme mellom den faglige, skjønnsmessige vurderingen av stasjonens tilstand, og tilstand regnet ut med indeksene. En viktig begrensning med MSMDI er at den ikke fanger opp forekomster av opportunistiske trådalger. Fjæresoneindeksen vil derimot fange opp forekomst av opportunistiske arter, men kun i fjæresonen. Siden fjæresonen er et krevende leveområde er organismene som lever der robuste og tilpasset skiftende og til tider ekstreme miljøforhold. Ekstreme miljøforhold gir stor naturlig variasjon (Paine & Levin, 1981). Alger tåler dessuten høyere næringssaltbelastning i områder med god vannbevegelse og bølgepåvirkning kan derfor virke dempende på eutrofieffekter i fjæra og derfor kan makroalgeundersøkelser kun i fjæra, virke kamuflerende på næringssaltpåvirkning (Walday m. fl. 2015).

Erfaringsmessig kan eutrofieffekter forekomme i sjøsonen samtidig som fjæresoneindeksen gir god tilstand. Fjæresoneundersøkelser vil dessuten i liten eller ingen grad fange opp andre forhold som kan gi bortfall av alger på større dyp enn fjæresonen. Bortfall av alger i sjøsonen kan skyldes både menneskeskapte og ikke-menneskeskapte forhold som redusert siktdyp, kråkebollebeiting,

nedslamming og begroing av epifyttiske alger og dyr. Disse forholdene gir sjelden registrerbare effekter i fjæra.

1.2 Introduksjon til komboindeksen

På bakgrunn av fjærsoneindeksens begrensninger ble det i 2017 lansert et forslag om komboindeksen, en ny klassifiseringsindeks for makroalger som skulle basere seg på vurderinger av makroalgesamfunnets tilstand over flere dybdeområder, ikke kun fjæresonen (Gundersen m. fl., 2017). I likhet med fjærsoneindeksen og nedre voksegrenseindeksen gjelder også komboindeksen for påvirkningstypen eutrofi, og er en to-delt indeks som baserer seg på registreringer i fjæresonen (RSL/RLA) i kombinasjon med registreringer i sjøsonen med droppkamera. Tre delparametere inngår i tilstandsvurderingen av sjøsonen: nederste voksegrense for opprette alger (i praksis rødalgebeltet), nedre voksegrense for stortare samt dybdeutbredelse av eventuelle masseforekomster av opportunistiske trådalger.

Med unntak av delprogram Skagerrak (som dekker Ytre Oslofjord) har komboindeksen blitt utprøvd på alle delprogram i ØKOKYST gjennom programperioden 2017-2020. Undersøkelser av det biologiske kvalitetselementet makroalger ruller, med undersøkelser hvert tredje år, slik at komboindeksen har blitt beregnet en til to ganger for de ulike hardbunnstasjonene i hvert delprogram i den nevnte perioden. Utprøving av komboindeksen videreføres i inneværende programperiode for ØKOKYST (2021-2025).

1.3 Mål for prosjektet

Miljødirektoratet ønsker at komboindeksen skal tas inn som gyldig indeks for tilstandsklassifisering av makroalger i klassifiseringsveilederen (Veileder 02:2018). På bakgrunn av dette ble komboindeksens egnethet evaluert av NIVA i 2022 (Fagerli m. fl., 2022) og svakheter ved eksisterende metodikk og begrensninger for vurderingsparameterne som inngår, ble påpekt. I denne oppfølgende rapporten vurderes det faglige grunnlaget for å endre indeksen i tråd med forslagene som fremkom under evalueringen.

Som ledd i denne prosessen evalueres følgende vurderingsparametere som mulig supplement til komboindeksen:

1. **Nedre voksedyp for sukkertare.** Ettersom sukkertare har en mer naturlig tilhørighet enn stortare i beskyttede vanntyper (hovedsakelig vanntype 3 og 4) er det vurdert om voksedyp for sukkertare kan inkluderes som tillegg til eller erstatning for voksedyp av stortare i disse (og eventuelt andre) vanntyper.
2. **Sammenheng mellom økende begroing av filtrerende organismer og partikkelkonsentrasjonen.** En trend med økende forekomst og begroing av filtrerende dyr observeres ofte på overvåkingsstasjoner. Det er vurdert om det er faglig grunnlag for å knytte trenden til økt organisk belastning og partikkelkonsentrasjon som påvirkningstype, og om begroing fra filtrerende organismer bør inkluderes som vurderingsparameter i tilstandsvurderingen, slik masseforekomster av opportunistiske trådalger er i dag.
3. **Beitepåvirkning fra kråkeboller.** Høyt beitepress fra kråkeboller fortrenger makroalgesamfunn på hardbunnslokaliteter. Det er vurdert om omfang av nedbeitet bunnsubstrat skal registreres systematisk og om beitepåvirkningen fra kråkeboller skal inngå i tilstandsvurderingen av makroalgestasjoner.

Vurderingene baserer seg på eksisterende kunnskapsgrunnlag fra innsamlede data, fagfellelvurdert vitenskapelig litteratur og faglige ekspertvurderinger.

1.4 Kort om beregning av komboindeksen

Komboindeksen består av en fjæresonedel og en sjøsonedel som skal vektlegges like mye i en samlet nEQR. Fjæresonen er i sin helhet basert på den etablerte RSL/RSLA-indeksen, mens sjøsonen per i dag inkluderer følgende tre delparametere

1. nedre voksegrense for stortare (*Laminaria hyperborea*)
2. nedre voksegrense for opprette rødalger
3. dybdeutstrekning av eventuell masseforekomst av trådformete alger

Dersom én eller to av delparameterne i sjøsonen ikke er målbar, kan komboindeksen fremdeles beregnes, men utsagnskraften vil da bli mindre. Det er foreløpig ikke utviklet klassegrenser for alle parametere i sjøsonen innenfor alle økoregioner og vanntyper. Det er også unntak for beregning av komboindeksen i vanntyper hvor det ikke foreligger klassegrenser for RSLA/RSL. I slike tilfeller kan nEQR-verdier for sjøsonen beregnes, men videre beregning av komboindeksen foretas ikke (jf. [28.11.17 Felt-og-beregningsmetodikk-for-komboindeksen \(Makroalger\) \(vannportalen.no\)](#)). Det pågår et arbeid med etablering av klassegrenser for fjæresoneindeksen i alle vanntyper og økoregioner (untatt i Skagerrak).

2 Nedre voksegrense for sukkertare som ny vurderingsparameter?

Ved benyttelse av komboindeksen er det ofte mangelfullt grunnlag for å vurdere delparameteren «nedre voksedyp for stortare», spesielt gjelder dette innenfor beskyttede fjorder hvor sukkertare (*Saccharina latissima*) er mer naturlig forekommende enn stortare. Ettersom stortare (*Laminaria hyperborea*) er den eneste tarearten som er inkludert som delparameter i komboindeksen vil utsagnskraften til komboindeksen reduseres for vanntypene dette gjelder. Dersom voksedypet for stortare begrenses av sukkertare i overgangssoner der sukkertare er mer konkurransedyktig, vil stasjonen dessuten oppnå en ufortjent dårlig tilstand, hvor den begrensende faktoren for stortare er knyttet til andre årsaker enn menneskelig påvirkning.

For å øke komboindeksens utsagnskraft er det foreslått å inkludere sukkertarens voksedyp som en delparameter i komboindeksen (jf. Fagerli m. fl. 2022). Det er flere mulige alternativer for inkludering av sukkertarens voksedyp:

1. Sukkertare kan inngå som parameter for vanntype 3 og 4 (eventuelt også vanntype 2 hvor den ofte er tilstede), som erstatning for, eller som tillegg til registreringer av stortare.
2. Alternativt kan nedre voksedyp for begge artene undersøkes samlet i utvalgte eller samtlige vanntyper, hvor det dypeste voksedypet gjøres gjeldende i indeksberegningen uavhengig av art (sukkertare eller stortare).

For at sukkertare skal kunne inkluderes som vurderingsparameter i komboindeksen må det imidlertid etableres referanseverdier og klassegrenser for artens voksedyp på lik linje som for stortare og rødalger.

I delkapitlene nedenfor er det undersøkt om (1) eksisterende datagrunnlag for sukkertarens voksedyp er tilstrekkelig for å utarbeide egne klassegrenser for sukkertare og, dersom datagrunnlaget er utilstrekkelig, skal det (2) vurderes om klassegrensene for stortare også kan være representative for sukkertarens dybdeutbredelse.

2.1 Datagrunnlag for etablering av klassegrenser

Nedre voksedyp for makroalger defineres som største voksedyp som ikke er begrenset av uegnet substrat. Klassegrensene og referanseverdier som benyttes for rødalger baserer seg primært på ekspertvurderinger. Klassegrensene for stortare baserer seg imidlertid på et solid datagrunnlag fra transekter der stortare er registrert ned til maksimal dybdeutbredelse, med bekreftet hardbunn (egnet substrat) lenger ned (Gundersen m. fl. 2017). Dette representerer artens «ekte nedre voksedyp» og datagrunnlaget er innhentet i forbindelse med det nasjonale kartleggingsprogrammet hvor droppkamera er benyttet for observasjoner av stortares voksedyp.

Tilsvarende datagrunnlag og kartlegging er ikke gjort for sukkertare. Stortare og sukkertare har imidlertid nære fellestrekk knyttet til fysiologi, økologi og utbredelse. Det er derfor nærliggende å anta at deres potensielle dybdeutbredelse vil være lik innen store deler av deres utbredelsesområde. Dersom det ikke er vesentlige forskjeller mellom artenes nedre voksedyp vil referanseverdier og klassegrenser satt for stortare også kunne benyttes for tilstandsvurdering av sukkertare. For å

undersøke om det er grunnlag for å benytte identiske klassegrensar for de to artene har vi gjort følgende tilnærminger:

1. Gjennomgang og statistiske analyser av datamateriale fra NIVAs interne hardbunnsbase fra 1990 frem til i dag for å sammenligne voksedyp på lokaliteter der begge arter forekommer (delkapittel 2.2-2.4).
2. Litteraturstudie for å undersøke eventuelle forskjeller/likheter i lysbehov hos sukkertare sammenlignet med stortare (delkapittel 2.5-2.6).

2.2 Gjennomgang av eksisterende datamateriale for sukkertarens voksedyp

Mesteparten av datamaterialet i NIVAs hardbunnsbase stammer fra store overvåkingsprogrammer som kystovervåkingsprogrammet (KYO, senere ØKOKYST), sukkertareovervåkingen (KYS), samt overvåkingsprogrammene for Indre- og Ytre Oslofjord (IO og YO). Flere av stasjonene som inngår i disse programmene inngår også i programmet «Lange tidsserier». Databasen inneholder også data fra mindre prosjekter, som resipientundersøkelser og utredninger, data som er verdifulle fordi de dekker områder som ikke er en del av overvåkingsprogrammene.

Vi har hentet ut alle registreringer av sukkertare og stortare som er lagret i NIVAs hardbunnsbase. Dataene er samlet i forbindelse med vertikale transektregistreringer av makroalgesamfunn eller ved undersøkelse av nedre voksegrens for makroalger. Samtlige data baserer seg på registreringer fra dykkerundersøkelser hvor 30 m utgjør dypeste observasjonsdyp. En oversikt over stasjonsomfang sortert etter økoregion og vanntype er gitt i Tabell 1.

Tabell 1. Oversikt over dykkestasjoner i NIVAs hardbunnsbase, hvor det er registrert sukkertare og stortare under vertikale transektregistreringer av makroalgesamfunn og/eller undersøkelse av nedre voksegrens for fastsittende makroalger. Stasjonene er fordelt på økoregion og vanntype. Tidspunkt for undersøkelsene er oppgitt som undersøkelsesår.

Økoregion	Vanntype	Antall stasjoner	Undersøkelsesår
Norskehavet Sør	2	1	2004
	3	10	2003, 2004, 2011
	4	1	2011
Nordsjøen Nord	1	4	1990-99, 2005-10, 2013-21
	2	2	2016
	3	8	2009, 2016
Nordsjøen Sør	1	5	1990-99, 2002-10, 2013, 2016-21
	2	4	1990-2011, 2015
	3	13	2009-12, 2014-16, 2021-21
	4	2	2002-10, 2016
Skagerrak	1	14	1990-2020
	2	20	1981-83, 89, 1990-98, 2001-21
	3	28	1981-83, 98, 1990-21
	5	1	2007,10
	6	5	1995, 2009-16, 2021*

*Kun 1 av 5 stasjoner innenfor vanntype 6 ble undersøkt i 2021

2.3 Statistiske analyser

I de statistiske analysene av dataene er generaliserte lineære modeller og ANOVA benyttet for undersøke sammenhengen mellom forklaringsvariabelen *art* (sukkertare og stortare) og *nederste registrerte voksedyp* (respons-variabel) ved bruk av lme4-pakken i R (Bates m. fl. 2015). *Stasjon* ble inkludert i modellene som en variabel parameter (random factor). Individuelle analyser ble foretatt for de enkelte økoregioner og vanntyper. Det fullstendige datasettet inneholdt 1056 observasjoner av nedre voksedyp (555 og 501 observasjoner av hhv. sukkertare og stortare). Undersøkelsene har blitt foretatt ved ulike tider og med ulik frekvens på de forskjellige stasjonene, men denne variabelen er sett bort fra i analysene.

Resultater fra ANOVA analysene er vist i Tabell 8 i Vedlegg og oppsummert i delkapittel 2.4.

2.4 Analyseresultater

Det er kun i økoregion Nordsjøen Sør og for vanntype 1 – «bølgeeksponert kyst» som det er signifikante forskjeller i voksedyp mellom artene. I disse områdene vokser stortare signifikant dypere enn sukkertare. Gundersen m. fl. (2017) fant at estimerte referanseverdier for stortarens voksedyp er en god del dypere i Nordsjøen enn i Skagerrak og Norskehavet. Studier gjort av Christie m. fl. (2014) viser at vekstforholdene for stortare er best i Midt-Norge. Ettersom sukkertare har en nordligere utbredelse enn stortare er det mulig at sukkertaren har optimale vekstforhold litt lengre nord enn det stortare har. Dette er imidlertid ikke vitenskapelig dokumentert. For vanntype 4 og 5 foreligger det ikke tilstrekkelig data til å gjøre individuelle tester av voksedyp for artene men basert på de få datapunktene som inngår i datasettet ($n = 11$) er stortare funnet grunnere sammenlignet med sukkertare i disse vanntypene. Heller ikke for økoregion Norskehavet sør er datagrunnlaget tilstrekkelig til foreta statistisk analyse.

Dersom uttesting viser at bruk av referanseverdier for stortare overestimerer sukkertarens voksedyp i Nordsjøen Sør og vanntype 1, 4 og 5 kan man nedjustere grenseverdiene for sukkertare innenfor enkelte regioner og vanntyper på et senere tidspunkt, når det foreligger tilstrekkelig datagrunnlag for det.

Resultatene fra de statistiske analysene i Nordsjøen Nord og Skagerrak, samt vanntype 2 og 3 tilsier at stortarens klassegrenser kan benyttes for begge arter, dvs. at man kan anta at sukkertarens og stortarens potensielle/maksimale voksedyp er relativt likt. Det understrekes imidlertid at resultatene fra disse testene må betraktes som indikative da datasettet ikke er samlet med mål om slike sammenligninger. For økoregion Norskehavet og Barentshavet finnes det ikke datagrunnlag for statistiske sammeligninger.

2.5 Litteraturstudie – sukkertares voksedyp

Generelt avhenger tarens fotosyntese og biomasseproduksjon av flere samvirkende abiotiske faktorer som lysintensitet (lysfluks), temperatur, tilgang på næring og lengde på vekstsesong. Øvre og nedre grense for vekst og overlevelse følger en temperaturgradient samt varierer mellom ulike vanntyper. Videre er det dokumentert økotypiske forskjeller i lysrelaterte egenskaper mellom ulike sukkertarepopulasjoner (Espinoza & Chapman 1983). Siden voksedyp for sukkertare påvirkes av komplekse sammenhenger og vil variere geografisk ble det besluttet å fokusere litteraturstudiet mot å undersøke lystoleransen hos sukkertare sammenlignet med stortare.

Parsifal, et nettbasert verktøy for litteraturstudier ble benyttet for å bygge en litteraturbase. Totalt ble 186 vitenskapelige artikler importert til basen. Utvelgelseskriterieret forutsa at relevante studier

skulle dreie seg om sukkertare eller stortare, samt artenes lyskrav, voksedyp eller fotosyntesekapasitet. Søketråden som ble benyttet var: ("Saccharina latissima") OR ("Laminaria hyperborea") AND ("light requirement") OR ("growth depth") OR ("photosynthetic performance").

En filtreringsprosess ble deretter gjennomført der artikler ble tildelt skår etter relevans og hvor kun et fåtall (9) artikler ble beholdt og vurdert i det videre arbeidet (disse er listet i Vedlegg A).

2.5.1 Oppsummering av litteratur og vurdering av resultater

Artikkelen av Bartsch m. fl. (2008) oppsummerer fysiologiske trekk ved både sukkertare og stortare, og vekst og fotosyntesekapasitet for begge artene er beskrevet i artikkelen. Begge arter har en bred, potensiell vertikalutbredelse, fra lavvannsbeltet og ned til ca. 1-5 % lysdyp, og har dermed en svært god toleranse for lav lysintensitet. Sporofytter fra begge arter overlever gjennom både kalde, arktiske vintere og flere måneder med turbid vann i tempererte strøk (Dunton m. fl., 1982). Minimum årlig lyskrav for å gjennomføre en vekstsyklus for en voksen stortare-sporofytt (fra Helgoland) utgjør ca. 70 mol fotoner per m² per år. Dette overlapper med sukkertare som til sammenligning mottar mellom 40-96 mol fotoner per m² per år i sitt utbredelsesområde i Arktis. Sukkertare har en nordligere utbredelse sammenlignet med stortare. Sukkertare forekommer på Svalbard hvor den kan overleve over lengre tid i mørket under isen. Sukkertarens evne til overlevelse ved lavere temperaturer sammenlignet med stortare bidrar til å forklare sukkertarens evne til overlevelse ved høyere breddegrader. Hvordan eventuelle forskjeller i lystoleranse også spiller inn her er usikkert.

Gjennom litteraturstudien ble det ikke funnet vitenskapelige studier som dokumenterer at lystoleranse, og derav sukkertarens voksedyp, skiller seg vesentlig fra stortare.

I en studie av Rueness og Fredriksen (1991) er nedre voksedyp for stortare og sukkertare registrert på åtte stasjoner i en eksponeringsgradient fra ytre kyst i Skagerrak til Drøbakundet i Oslofjorden. Stasjonene ble først besøkt av Sundene (1953) mellom 1947-1952, og så gjenbesøkt av Fredriksen og Rueness i 1989; 40 år senere. I begge undersøkelsene ble samme voksedyp registrert for sukkertare og stortare, men voksedypet var betydelig redusert for begge artene mellom 1947-52 og 1989. Reduksjon i voksedyp forklares med økt turbiditet og sedimentasjon, hvorav begge arter viste lik respons på negativ påvirkning (Fredriksen og Rueness 1991).

3 Forslag til endring i beregningsmetodikk for komboindeksen

Nåværende praksis for beregning av komboindeksen er beskrevet på vannportalens nettside ([28.11.17 Felt-og-beregningsmetodikk-for-komboindeksen \(Makroalger\) \(vannportalen.no\)](#)). Det presiseres at det foreløpig ikke er utviklet klassegrenser for alle økoregioner/vanntyper for parameterne som inngår i sjøsonen. Under utprøving av komboindeksen har derfor klassegrenser for nærliggende vanntyper/økoregioner blitt benyttet for beregning av nEQR-verdier for sjøsonen. For vanntype 5 er det kun etablert referanseverdier og klassegrenser for dybdeutbredelse til masseforekomster av trådformede alger, ikke for nedre voksegrense for stortare og rødalger.

Vi foreslår at prinsippene for beregning av komboindeksen beholdes, men nedre voksedyp for sukkertare skal legges til som en undersøkelsesparameter i vanntype 2-4 for alle økoregioner. Tabell 9, fra s. 18 i beregningsinstruksen må dermed splittes mellom vanntype 1 (Tabell 2) og vanntype 2-4 (Tabell 3) på følgende måte:

Tabell 2. Referanseverdier og klassegrenser for stortare (gitt i meter) for vanntype 1 = åpen eksponert kyst.

Stortare		Ref					
Økoregion	Vanntype*	Poeng hvis dyp >x					
		5	4	3	2	1	0
Skagerrak	1	22	18	13	9	4	0
Nordsjøen sør og nord	1	32	26	19	13	6	0
Norskehavet sør og nord	1	22	18	13	9	4	0

Tabell 3. Referanseverdier og klassegrenser for stortare og sukkertare (gitt i meter) for vanntype 2 = moderat eksponert kyst/fjord, 3 = beskyttet kyst/fjord, 4 = ferskvannspåvirket fjord.

Sukkertare/stortare*		Ref					
Økoregion	Vanntype**	Poeng hvis dyp >x					
		5	4	3	2	1	0
Skagerrak	2 – 3	22	18	13	9	4	0
Nordsjøen sør og nord	2, 4	32	26	19	13	6	0
Nordsjøen sør og nord	3	25	20	15	10	5	0
Norskehavet sør og nord	1***	22	18	13	9	4	0

*For sukkertare og stortare benyttes voksedypet til den av de to artene som vokser dypest på stasjonen.

** For stasjoner i vanntype 6 (oksygenfattig fjord) kan det benyttes klassegrensene til en annen vanntype (1-5) med lignende eksponering og salinitet.

***For økoregion Norskehavet sør og nord samt Barentshavet finnes det kun referanseverdier for vanntype 1.

Videre må en justert formel suppleres under pkt. 6 (s. 11 i [beregninginstruksen i vannportalen.no](https://www.vannportalen.no/beregningsinstruksen)) hvor sukkertare legges til ved beregning av nEQR sjøsone for vanntype 2-4:

$$\text{nEQR sjøsone} = \frac{\text{EQR tare (sukkertare/stortare)} + \text{EQR rødalger} + \text{EQR trådformete alger}}{3}$$

4 Sammenheng mellom begroende organismer og partikkelkonsentrasjon

Vi vet at trådalger raskt kan nyttiggjøre seg tilførte næringssalter og at store forekomster og hurtig vekst av trådalger kan være en indikasjon på forhøyede nivåer av næringssalter (eutrofiering). Når en flerårig alge, slik som sukkertare, blir begrodd av f.eks trådalger vil begroingsorganismene redusere lystilgangen til algen (taren). Begroing av skorpeformete mosdyr vil i henhold til Sogn Andersen m. fl. (2019) redusere lystilgangen med rundt 10 %, mens et tett dekke av trådalger kan redusere lyset med over 80 %. Et tett dekke av sekkedyret *Ciona intestinalis*, som vi av og til finner på tareplanter, kan stjele opp mot 90 % av det tilgjengelige lyset for taren. Tett påvekst vil ha fatale følger for algene som er begrodd, mens en moderat påvekst som stjeler mindre lys vil ha størst negativ betydning for de algene som vokser dypest, og som dermed er mest sårbare for redusert lystilgang. Her er det vurdert om det er faglig grunnlag for å knytte begroing fra fra filtrerende organismer som mosdyr og sekkedyr, til økt organisk belastning og partikkelkonsentrasjon som påvirkningstype.

4.1 Litteratursøk - partikler og filtrerende organismer

Tilsvarende som for sukkertare og stortare ble det foretatt et litteratursøk for å undersøke om det finnes dokumenterte, positive sammenhenger mellom økende begroing av filtrerende organismer og partikkelkonsentrasjon i sjøvann. Google scholar ble benyttet som søkeverktøy og Parsifal ble benyttet for å bygge litteraturbase. Flere søketråder ble forsøkt benyttet:

1. ("relationship") AND ("turbidity" OR "particles") AND ("fouling organisms" OR "epibionts") AND ("kelp")

Søket resulterte i 4190 resultater. Av de 1400 første treffene ble 27 vitenskapelige artikler importert til litteraturbasen, men kun tre av artiklene (Airoldi & Cinelli 1997, Kocak & Kucuksezgin 2000, Carver et al. 2006, se Vedlegg) ble vurdert som relevante etter skår i filtreringsprosessen. I forsøk på å snevre inn litteratursøket mot færre, men mer relevante resultater ble også følgende to søketråder testet:

2. («kelp») AND («fouling») AND («filter feeders») AND («enriched by particles»)
og
3. («kelp») AND («fouling») AND («filter feeders») AND («enriched by organic»)

Den første tråden ga ingen treff mens den siste resulterte i 14 resultater. Det var imidlertid ingen flere relevante vitenskapelige studier blant disse treffene som ikke allerede var importert til litteraturbasen fra det første søket.

4.1.1 Oppsummering av litteratur og vurdering av resultater

Det er særlig sekkedyr som ofte observeres fastsittende med høy forekomst på sukkertarens lamina. I to av de tre relevante vitenskapelige studiene diskuteres særlig om enkeltarter av solitære sekkedyr favoriseres av organiske partikler, samt næringsrike og turbide vannmiljøer. Kocak & Kucuksezgin (2000) har observert en sammenheng mellom høy forekomst av tarmsjøpungen *Ciona intestinalis* og organisk belastede miljøer, og ut fra sin høye forekomst i organisk belastede områder har det vært foreslått å benytte *C. intestinalis* som indikatorart for organisk forurensing (Carver et al. 2006).

Naranjo et al. (1996) har også funnet en positiv sammenheng mellom forekomst og diversitet av sekkedyr, og økt konsentrasjon av suspendert organisk materiale i vannmassene.

Til tross for støtte fra litteratur vurderer vi det slik at det faglige grunnlaget for å trekke en sikker sammenheng mellom filtrerende organismers affinitet for turbiditet og organiske partikler ikke er godt nok etablert til at det er tilrådelig å inkludere dette som vurderingsparameter for partikulær belastning. Det foreslås imidlertid at høy begroing av filtrerende organismer på tareplanter og andre fastsittende makroalger registreres systematisk som en tilleggsparameter under datainnsamling for komboindeksen - for å øke kunnskapsgrunnlaget og for å følge utviklingen av begroing over tid.

5 Vurdering av beitepåvirkning fra kråkeboller

I komboindeksen vurderes påvirkning på makroalgesamfunn i tidevannsonen og påvirkning på voksedyp og utbredelse for enkelte algegrupper i sjøsonen. Det er sterke indikasjoner på at både reduksjon i algenes voksedyp og masseforekomster av trådalger er en respons på økt tilførsel av næring (eutrofi). Samtidig kan effekter av annen menneskelig påvirkning som havoppvarming, overfiske og kystnær urbanisering også lede til økt trådalgevekst og redusert voksedyp for makroalger. Den relative betydningen av disse ulike faktorene og hvordan de samspiller er usikker.

Høyt beitetrykk fra kråkeboller er ikke en indikasjon på eutrofi, men det er en påvirkningsfaktor som medfører sterk fysisk forstyrrelse på makroalgesamfunnet. Høye forekomster av kråkeboller kan dessuten bidra til at makroalgenes respons på eutrofipåvirkning uteblir ved at forekomst av forurensningsindikerende arter og trådalgesamfunn begrenses av høyt beitepress. Det er en sterk korrelasjon mellom kollaps i fiskebestander som utgjør kråkebollens predatorer, og den storskala nedbeitingen av makroalgesamfunn som utspant seg langs norskekysten på syttitallet (Norderhaug m. fl. 2021). Fravær av fastsittende alger og høye tettheter av kråkeboller er fremdeles vedvarende langs store deler av kysten og er tegn på trofisk ubalanse som trolig skyldes utfisking og mangel på kontroll fra kråkebollens toppredatorer. Høye tettheter av kråkeboller på glissen eller bar hardbunn (stein eller fjell) er dermed en indikator for en negativ økosystempåvirkning og en redusert økologisk tilstand for det biologiske kvalitetselementet «makroalgesamfunn».

Kråkeboller har naturlig tilhørighet i grunne kystøkosystemer og et moderat beitepress der kråkeboller opptre i lave tettheter utgjør ingen trussel for makroalgesamfunnet. Det er særlig den grønne kråkebollen (*Strongylocentrotus droebachiensis*) og den langpiggete kråkebollen (*Echinus acutus*) som stedvis kan opptre i svært høye tettheter hvor de beiter destruktivt på makroalgene og etterlater seg vedvarende, kråkebolledominert hardbunn og begrenset algevegetasjon.

I moderat eksponerte kystområder og fjorder nord for Sør-Helgeland, er nedbeiting av makroalgesamfunn mest fremtredende. Det er hovedsakelig masseforekomster av grønne kråkeboller som bidrar til nedbeiting i Nord Norge, men også den røde kråkebollen (*Echinus esculentus*) kan bidra til lokal nedbeiting i nordlige områder. I Troms og Finnmark domineres sjøbunnen fremdeles av kråkeboller over store deler av området som ble rammet av nedbeiting for snart 50 år siden, mens tareskogen i stor grad har kommet tilbake i den sørlige enden av nedbeitingsområdet. Gjenveksten i disse områdene skyldes et lavere beitepress fra kråkeboller og er et resultat av at kråkebollepopulasjonene har minket.

På Vestlandet skyldes nedbeiting i indre fjordområder vanligvis høye forekomster av den langpiggede kråkebollen og de senere år er det meldt bekymring for økende tettheter av kråkeboller i enkelte områder.

Nedbeitet kråkebolledominert hardbunn er en dysfunksjonell og alternativ tilstand av et økosystem hvor tareskog og rødalgebunn har naturlig tilhørighet. Kråkebolledominerte områder har typisk svært lavt biomangfold. I kystområder hvor kråkebollebunn har stort romlig omfang, vil gjenværende makroalgesamfunn (som gjerne da er begrenset til tidevannsonen) være særlig sårbare for forstyrrelse og negativ påvirkning (Christie m. fl. 2019).

Intakte makroalgesamfunn representerer en svært høy primær- og sekundærproduksjon og er derfor kritisk viktige habitater for ivaretagelse av lokalt biologisk mangfold og økosystemfunksjoner. Etter

dagens praksis foretar man ingen tilstandsvurdering av sjøsonen ved lokaliteter der det er usikkerhet om hvorvidt registrert nedre voksegrense (for stortare eller rødalger) er ekte - det vil si skyldes lysbegrensning. Tilstandsvurderingen på en nedbeitet hardbunnslokalitet baserer seg i slike tilfeller kun på den intakte delen av makroalgesamfunnet i tidevannssonen (RSL/RS�A), mens den beitepåvirkede delen av samfunnet i sjøsonen ikke vurderes. Lokaliteten kan derfor ofte oppnå en misvisende god tilstand.

Det foreligger et behov for økt kunnskapsgrunnlag knyttet til omfang og utvikling av beitepress på makroalgesamfunn. Vurdering av beiteeffekter kan gjennomføres parallellt med øvrig overvåking av makroalgesamfunn og bør inkluderes i tilstandsvurdering av lokalitetene.

5.1 Grunnlag for etablering av en beiteindeks

Vannforskriften angir normative bestemmelser for tilstandsklasser til kvalitetselementene i kystvann. De normative kravene til «svært god» og «god» tilstand for «Makroalger og angiospermer» fra Vannforskriften er vist i Tabell 4 og sier at *alle makroalgetaksa som forbindes med uberørte forhold er til stede, og at makroalgenes dekningsgrad tilsvarer uberørte forhold*. Høyt beitetrykk fra kråkeboller vil føre til sterkt redusert artsdiversitet og særlig dekningsgrad av makroalger vil påvirkes negativt. Høye forekomster av kråkeboller på en hardbunnslokalitet er dermed ikke i tråd med den normative definisjonen av «svært god tilstand» eller «god tilstand» og en lokalitet bør derfor ikke oppnå «svært god tilstand» eller «god tilstand» uansett tilstanden i fjæresonen.

I EUs hav strategidirektiv er det også krav til at samfunnsfunksjoner skal være slik de forbindes med uberørte forhold. Dette er ikke gjennomført i makroalgeindeksene som benyttes i Norge, siden det er godt dokumentert at viktige økosystemfunksjoner rammes når flerårig makroalgesamfunn, da særlig tareskog, blir borte. Tredimensjonal habitatstruktur, oppvekst- og fødeområder for marine evertebrater og fisk, karbonlagring og opprettholdelse av høyt biomangfold er blant funksjonene som ivaretas av flerårige makroalgesamfunn og som påvirkes negativt ved nedbeiting.

Tabell 4. Vannforskriftens normative bestemmelser for tilstandsklasser for makroalger og angiospermer i kystvann. Vurderingskriterier for svært god, god og moderat økologisk tilstand

Kvalitetselement	Svært god tilstand	God tilstand	Moderat tilstand
Makroalger og angiospermer	Alle makroalge- og angiospermtaksa som forbindes med uberørte forhold, er til stede. Makroalgenes dekningsgrad og angiospermenes mengder tilsvarer uberørte forhold	De fleste makroalge- og angiospermtaksa som er følsomme for forstyrrelser og forbindes med uberørte forhold, er til stede. Dekningsgraden for makroalger og mengden av angiospermer viser små tegn til forstyrrelser.	Et moderat antall makroalge- og angiospermtaksa som er følsomme for forstyrrelser og forbindes med uberørte forhold, er fraværende Makroalgenes dekningsgrad og angiospermenes mengder er moderat forstyrret og kan føre til uønskede forstyrrelser i balansen mellom organismene i vannforekomsten.

Uttesting av komboindeksen gjennom ØKOKYST-programmet har avdekket at sjøsonen ved en rekke av hardbunnslokalitetene som inngår i stasjonsnettet, særlig i de nordligste overvåkingsprogrammene og i enkelte fjorder på Vestlandet, er betydelig beitepåvirket. Tilstandsvurdering av disse lokalitetene baserer seg da ofte kun på vurdering av makroalger i fjæresonen, hvor tilstanden kan være «Svært god» eller «God». I tilfeller der komboindeksen lar seg beregne på bakgrunn av største voksedyp for rødalger og/eller stortare, vil resultatet ofte vise «svært god» eller «god» tilstand ettersom de grønne kråkebollene oftest opptrer i høyest konsentrasjoner i den grunne delen av sjøsonen, fra ca. 10 m dyp og til lavvannsbeltet. De langpiggede kråkebollene kan man derimot ofte observere i høye tettheter dypere i sjøsonen og ved slike tilfeller vil det være større usikkerhet om det er lys eller beitetrykk som regulerer voksedypet til algene.

5.2 Forslag til effektivvurdering av beitepress fra kråkeboller

For å synliggjøre utbredelse og effekt av beitepåvirkning på makroalgesamfunn ved økosystemovervåking presenterer vi et forslag til en objektiv effektivvurdering for kråkebollers beitetrykk. Dette skal kunne benyttes ved enkeltstående undersøkelser for vurdering av tilstand for makroalgesamfunn i vannforekomster på tvers av vanntype og økoregion. Effektivvurderingen består av kvantifiserbare elementer som kan benyttes alene eller i kombinasjon med makroalgeindeksene RSL/RSLA og komboindeksen. Det er tatt sikte på å utforme en enkel binær indeks som kategoriserer makroalgestasjoner til «beitepåvirket» eller «ikke beitepåvirket» tilstand.

Jf. klassifiseringssystemet skal økologisk tilstand for biologiske kvalitetselementer vurderes etter avvik fra naturtilstand, hvor god økologisk tilstand er definert som akseptable avvik fra naturtilstanden. Påvirkning og avvik fra naturtilstand vil her være knyttet til sammenheng mellom de to vurderingsparametere:

- 1 – mengde/forekomst av kråkeboller
- 2 - mengde/forekomst av makroalger på den undersøkte lokaliteten

De to vurderingsparameterne kan undersøkes med videotransekt i sjøsonen, parallelt med, og etter samme prinsipp som for komboindeksen. Dersom droppkamera benyttes, må det opereres fra båt mens ved bruk av ROV kan undersøkelsen også utføres fra land. Fordeler og ulemper knyttet til bruk av hhv. droppkamera og ROV er beskrevet i Fagerli m. fl. 2022.

Substrat og helningsgrad er elementer som kan regulere algevekst. I metodebeskrivelsen for komboindeksen presiseres det at stasjonene bør skråne jevnt ned til (og forbi) nedre mulige voksegrense for alger (minimum 30 m). Bunnssubstratet bør uavbrutt bestå av fjellbunn eller stein. Fjell eller stein må også utgjøre dominerende bunnssubstrat for at beiteeffekter fra kråkeboller skal kunne vurderes, men beiteindeksen vil kunne beregnes innenfor et mindre dybdeintervall enn det som kreves for bestemmelse av algers voksedyp ved beregning av komboindeksen. Dersom hardbunnssubstrat kun dominerer gjennom de øvre dybdemetere av sjøsonen på en lokalitet, vil en allikevel kunne vurdere beiteeffekter i dette dybdeintervallet og vurdere påvirkning på bakgrunn av observasjonene. Beitepåvirkning kan dermed inngå i en samlet vurdering av en hardbunnslokalitet i kombinasjon med fjæresoneindeksen alene (dersom kombindeksen ikke lar seg beregne) eller samlet med komboindeksen.

5.3 Forslag til beiteindeks med to delkomponenter

Indeksen vil bestå av to komponenter som representerer strukturelle forhold sublittoralt i hardbunnsamfunnet:

1 – Semikvantitativ forekomst av kråkeboller (0 = ingen, 1 = enkeltvis, 2 = spredt, 3 = vanlig, 4 = dominerende forekomst)

2 – Dybdeutstrekning/vertikalutbredelse (antall meter) av nedbeitet hardbunn

For at indeksen skal kunne klassifisere som påvirket må begge delkomponenter vise betydelig påvirkning, dvs. det må observeres spredte eller vanlige forekomster av kråkeboller innenfor en gitt dybdeutstrekning, der forekomsten av makroalger samtidig er fraværende eller lav.

Vårt forslag:

Effektivrurdering av beiting forslås som en binær indeks med resultat «påvirket / ikke påvirket» og som presenteres som en egen indeks. Ved samlet tilstandsvurdering vil en beitepåvirket stasjon nedjusteres med én tilstandsklasse dersom tilstanden er beregnet til «svært god» eller «god».

I vårt forslag har vi satt fem meter dybdeutstrekning av beitepåvirkning som en avgrensning mellom betydelig og ubetydelig påvirkning (Tabell 5). Det refereres da til antall meter av sjøbunnen som er beitepåvirket, ikke til faktisk vanndybde.

Tabell 5. Klassifisering av beitetilstand/beitepåvirkning. Vurdering av beitetilstand baserer seg på dybdeutbredelsen av fravær (eller glissen forekomst) av makroalger på hardbunn (fjell, blokk eller stein). Det forutsettes at kråkeboller opptrer med 2 - spredt (eller høyere) forekomst innenfor det observerte dybdeintervallet.

Dybdeutstrekning av beitepåvirkning	Ubetydelig beitepåvirkning	Betydelig beitepåvirkning
Vanntype 1-5	0-5 m dybdeutstrekning	>5 m dybdeutstrekning

6 Regneeksempel

I regneeksemelene nederfor sammenlignes tilstandsvurdering utført etter eksisterende beregningsmetodikk med beregningsmetodikk utført iht. forslag presentert i delkapittel 2.6 og 4.3 (hvor nedre voksegrense for sukkertare og beitepåvirkning fra kråkebolter inkluderes som vurderingsparametere).

Observasjonene fra sjøsonen er basert på undervannsvideo med dropkamera. Normaliserte EQR-verdier for fjæresoneindeksen er hentet fra Christensen m. fl. 2019 og utregning av fjæresoneindeksen vises ikke her.

Nedenfor oppsummeres fremgangsmåte for gjeldende beregning av nEQR verdier for sjøsonen og for komboindeksen (jf. [28.11.17 Felt-og-beregningsmetodikk-for-komboindeksen \(Makroalger\) \(vannportalen.no\)](#)):

Utrekning:

1. Beregn fjæreindeksen (RSLA/RSL) som vist over
2. Ut fra dropkamerareplikatene, benytt den dypeste registreringen av nedre voksedyp for stortare. Finn poengene som registrerte dyp gir i Tabell 9 og del på referanseverdi = 5. Du får da EQR for stortare.
3. Ut fra dropkamerareplikatene, benytt den dypeste registreringen av nedre voksedyp for opprette rødalger. Finn poengene som registrerte dyp gir i Tabell 10, og del på referanseverdi = 5. Du får da EQR for opprette rødalger.
4. Hvis nedre voksegrense er målt grunnere enn grenseverdien mellom Svært god og God og det er usikkerhet om hvorvidt registrert nedre voksegrense (for stortare eller rødalger) er ekte, bør ikke denne parameteren inngå i beregningen av EQR for sjøsonen. I slike tilfeller bør man kun bruke fjæresoneindeksen RSL/RSLA.
5. Ut fra dropkamerareplikatene, benytt den største dybdeutbredelsen for masseforekomster av trådformete alger. Finn poengene som dybdeutbredelsen gir i tabell 11, og del på referanseverdi = 5. Du får da EQR for trådformete alger.
6. En felles nEQR (normalisert EQR) for sjøsonen beregnes som et gjennomsnitt av de tre delparameterne. Dersom én eller to av delparameterne i sjøsonen ikke er målbar, kan nEQR fremdeles beregnes på bakgrunn av den/de eksisterende, men utsagnskraften vil da bli mindre. Det må fremkomme klart av resultatene hvilke parametere som ikke er målt.

Forslag til ny beregning av nEQR:

ØKOKYST Norskehavet Nord III, Årsrapport 2018 (Christensen m. fl 2019)

Observasjoner fra feltundersøkelser ved HR79 - Spilderbukta, vanntype B2:

1. Nedre voksedyp for alger:
 - Rødalger*: 31 m dyp
 - Stortare*: Ingen individer observert
 - Sukkertare*: 23 m dyp
2. Beitepåvirkning fra kråkeboller:
 - Nedbeitet fjell*: 10 - 1 m dyp, oppreiste makroalger nedenfor, men ikke tareskog (Figur 1)
 - Forekomster av kråkeboller*: spredt-vanlig forekomst av grønne kråkeboller

Tilstandsvurdering utført etter eksisterende beregningsmetodikk hvor sukkertare og beitepåvirkning kråkeboller ikke er inkludert:

1. RSLA/RSL: nEQR = 0,66 (jf. Christensen m. fl 2019)
2. Ingen stortare er observert på stasjonen og denne parameteren kan ikke beregnes
3. NVG for rødalger er 31 m og gir 5 poeng i Tabell 7(ref. Tabell 10).
EQR verdi for rødalger = 5 (poeng) / 5 (referanseverdi) = **1**
4. NVG tilsvarer «svært god» tilstand og gir dermed grunnlag for å beregne nEQR for sjøsonen
5. Det er ikke observert trådalger på stasjonen. nEQR for trådformede alger = 5 (poeng) / 5 (referanseverdi) = **1**
6. nEQR beregnes som et gjennomsnitt av de to målbare parameterne, dvs. EQR for stortare ekskluderes fra beregningen:

$$\text{nEQR sjøsone} = \frac{\text{EQR rødalger} + \text{EQR trådformete alger}}{2} = \frac{1 + 1}{2} = 1$$

$$\text{nEQR komboindeks} = \frac{\text{nEQR fjæresone} + \text{nEQR sjøsone}}{2} = \frac{0,66 + 1}{2} = 0,83$$

nEQR komboindeksen = 0,83 / «svært god» tilstand

Tilstandsvurdering utført etter foreslått beregningsmetodikk, hvor sukkertare og beitepåvirkning kråkeboller er inkludert:

1. RSLA/RSL: nEQR = 0,66 (jf. Christensen m. fl 2019)
2. NVG for sukkertare på stasjonen er observert ved 23 m. Det er ikke etablert referanseverdier/klassegrenser for stortare for vanntype 2 for Barentshavet. Referansedyp/klassegrenser for Nordsjøen Nord med tilsvarende vanntype (vanntype 2) benyttes i utregningen.
EQR verdi for tare = 3 (poeng) / 5 (referanseverdi) = **0,6**
3. NVG for rødalger er 31 m og gir 5 poeng i se Tabell 10 i Tabell 7.
EQR verdi for rødalger = 5 (poeng) / 5 (referanseverdi) = **1**
4. Nedre voksegrense tilsvarer «svært god» tilstand og det er dermed grunnlag for å beregne nEQR for sjøsonen
5. Det er ikke observert trådalger på stasjonen. nEQR for trådformede alger = 5 (poeng) / 5 (referanseverdi) = **1**
6. nEQR beregnes som et gjennomsnitt av de tre målbare parameterne, :

$$\text{nEQR sjøsone} = \frac{\text{EQR tare (sukkertare/stortare)} + \text{EQR rødalger} + \text{EQR trådformete alger}}{3} = \frac{0,6 + 1 + 1}{3} = 0,87$$

$$\text{nEQR komboindeks} = \frac{\text{nEQR fjæresone} + \text{nEQR sjøsone}}{2} = \frac{0,66 + 0,87}{2} = 0,76$$

nEQR komboindeksen = **0,76 / «god» tilstand**

Dybdeutbredelsen for glissen/beitet makroalgevegetasjon med «spredt» til «vanlig» forekomst av kråkeboller utgjør 9 m (fra 10 m til 1 m dyp). Iht. Tabell 8 er stasjonen betydelig beitepåvirket og ved samlet tilstandsklassifisering trekkes tilstanden ned fra «god» til «moderat» tilstand.

nEQR komboindeks korrigert for beitepåvirkning gir tilstandsklasse = «moderat» tilstand

Tabell 6. Tabeller med klassegrenser og referanse-verdier for sjøsonen for stortare (ref. Tabell 9), opprette rødalger (ref. Tabell 10) og masseforekomster av trådalger (ref. Tabell 11) hentet fra [28.11.17 Felt-og-beregningsmetodikk-for-komboindeksen \(Makroalger\) \(vannportalen.no\)](#)

Sjøsonen:

Tabell 9. Referanseverdier og klassegrenser for stortare (gitt i meter). Klassegrensene er basert på statistisk analyse. 1=åpen eksponert kyst, 2=moderat eksponert kyst/fjord, 3=beskyttet kyst/fjord, 4=ferskvannspåvirket fjord

Stortare		Ref	Poeng hvis dyp >x				
Økoregion	Vanntype*	5	4	3	2	1	0
Skagerrak	1 – 3	22	18	13	9	4	0
Nordsjøen sør og nord	1, 2, 4	32	26	19	13	6	0
Nordsjøen sør og nord	3	25	20	15	10	5	0
Norskehavet sør og nord	1	22	18	13	9	4	0

* For stasjoner i vanntype 6 (oksygenfattig fjord) kan det benyttes klassegrensene til en annen vanntype (1-5) med lignende eksponering og salinitet.

Tabell 10. Referanseverdier og klassegrenser for opprette rødalger (gitt i meter). Klassegrensene er basert på statistisk analyse. 1=åpen eksponert kyst, 2=moderat eksponert kyst/fjord, 3=beskyttet kyst/fjord, 4=ferskvannspåvirket fjord

Opprette rødalger		Ref.	Poeng hvis dyp >x				
Økoregion	Vanntype*	5	4	3	2	1	0
Skagerrak	1	30	24	18	12	6	0
Skagerrak	2	24	19	14	9	5	0
Skagerrak	3	17	13	10	7	3	0
Nordsjøen sør	1, 2, 3	30	24	18	12	6	0
Nordsjøen nord	1, 2, 3	30	24	18	12	6	0
Norskehavet sør	1, 2, 3	30	24	18	12	6	0
Norskehavet nord	1, 2, 3	30	24	18	12	6	0
Barentshavet	1, 2, 3	30	24	18	12	6	0

* For stasjoner i vanntype 6 (oksygenfattig fjord) kan det benyttes klassegrensene til en annen vanntype (1-5) med lignende eksponering og salinitet.

Tabell 11. Referanseverdier og klassegrenser for dybdeutbredelse til masseforekomster av trådformede alger (gitt i meter). Klassegrensene er differensiert mellom eksponerte (1-2) og beskyttede (3-5) vanntyper. Benyttes i alle økoregionene. 1=åpen eksponert kyst, 2=moderat eksponert kyst/fjord, 3=beskyttet kyst/fjord, 4=ferskvannspåvirket fjord, 5=sterkt ferskvannspåvirket fjord

Trådformete alger	Ref.					
Vanntype / Poeng	5	4	3	2	1	0
Vanntype 1 - 2	0	0	>0 - 1	>1 - 4	>4 - 6	>6
Vanntype 3 - 5	0	>0 - 2	>2 - 4	>4 - 6	>6 - 10	>10

Tabell 7. Klassifisering av beitetilstand/beitepåvirkning. Vurdering av beitetilstand baserer seg på dybdeutbredelsen av fravær (eller glissen forekomst) av makroalger på hardbunn (fjell, blokk eller stein). Det forutsettes at kråkeboller opptrer med «2 – spredt» (eller høyere) forekomst innenfor det observerte dybdeintervallet.

Dybdeutstrekning av beitepåvirkning	Ubetydelig beitepåvirkning	Betydelig beitepåvirkning
Vanntype 1-5	0-5 m dybdeutstrekning	>5 m dybdeutstrekning



Figur 1. Undervannsfoto fra stasjon HR79 Spiderbukta med «3 - vanlig forekomst» av kråkeboller på nedbeitet hardbunn ved 1,9 m dyp.

7 Konklusjon

I denne rapporten er det det faglige grunnlaget for å endre komboindeksen i tråd med tidligere forslag (jf. Fagerli m. fl., 2022) vurdert. Vurderingene omfatter inkludering av voksedyp for sukkertare, masseforekomster av filtrerende organismer og beitepåvirkning fra kråkeboller som supplerende vurderingsparametere i komboindeksen. Vurderingene er basert på analyse av tidligere innsamlede data, fagfellevurdert vitenskapelig litteratur og NIVA-faggruppens vurderinger og oppsummeres nedenfor.

Sukkertares voksedyp:

1. Resultater fra statistiske analyser av eksisterende data indikerer at sukkertarens og stortarens potensielle/maksimal voksedyp er relativt likt innenfor økoregionene Nordsjøen Nord og Skagerrak og i vanntype 2 – «moderat eksponert kyst» og 3 – «beskyttet kyst/fjord». Vår vurdering er at stortarens klassegrenser kan benyttes for begge arter innen disse vanntypene og økoregionene.
2. Innenfor økoregion Nordsjøen Sør og for vanntype 1 – «bølgeeksponert kyst» viser resultatene fra de statistiske analysene signifikante forskjeller i artenes voksedyp. I disse områdene vokser stortare signifikant dypere enn sukkertare og klassegrenser basert på stortarens voksedyp vil derfor være konservative dersom de benyttes for sukkertare.
3. Fra gjennomgang av fagfellevurdert vitenskapelig litteratur ble det ikke funnet studier som dokumenterer eller tilsier at sukkertarens lystoleranse eller voksedyp skiller seg vesentlig fra stortarens.
4. På faglig grunnlag foreslår vi at prinsippene for beregning av komboindeksen beholdes, men at nedre voksedyp for sukkertare legges til som en undersøkelsesparameter sammen med stortare i vanntype 2-5 for alle økoregioner.

Masseforekomster av filtrerende organismer:

5. I likhet med påvekst av trådformede alger vil tett begroing av filterende organismer ha negativ effekt på tareplanter og andre flerårige makroalger, særlig gjennom skyggelegging og mekanisk skade av lamina.
6. Fra gjennomgang av fagfellevurdert vitenskapelig litteratur ble det ikke funnet studier som tydelig dokumenterer et «dose-respons» forhold mellom mengde filtrerende organismer og organiske partikler.
7. Ettersom faglig kunnskap er mangelfull vurderes det at påvekst av filtrerende organismer ikke bør inngå som indikator for partikulær belastning i komboindeksen per i dag.
8. For å øke kunnskapsgrunnlaget og for å følge utviklingen av begroing over tid, foreslås det at høy begroing av filtrerende organismer på tareplanter og andre fastsittende makroalger registreres systematisk som en tilleggsparemeter under datainnsamling for komboindeksen.

Beitepåvirkning fra kråkeboller:

9. Høy beitepåvirkning fra kråkeboller på hardbunnslokaliteter er ikke i tråd med den normative definisjonen av «svært god tilstand» eller «god tilstand» i Vannforskriften.
10. Det foreligger solid faglig grunnlag for å knytte en sammenheng mellom beitegrad og mengdeforhold av kråkeboller.
11. På hardbunnslokaliteter der forekomster av kråkeboller påfører et høyt beitetrykk, bør beitepåvirkning inngå i den samlede tilstandsvurderingen av lokaliteten.

12. Det foreslås å benytte en binær indeks som kategoriserer makroalgestasjoner til «beitepåvirket» eller «ikke beitepåvirket» tilstand. Indeksen kan benyttes alene eller i kombinasjon med RSL/RSLA og komboindeksen.
13. Ved samlet tilstandsvurdering foreslår vi at en «beitepåvirket» lokalitet nedjusteres med én tilstandsklasse dersom tilstanden er beregnet til «svært god» eller «god».

8 Referanser

Airoidi, L., Cinelli, F. (1997) Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a mediterranean rocky shore. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 215: 269 –288

Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S (2015). “Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4.” *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. doi:10.18637/jss.v067.i01.

Carver, C. E., Mallet, A. L. and Vercaemer, B. (2006) Biological synopsis of the solitary tunicate *Ciona intestinalis*. Bedford Institute of Oceanography Dartmouth, Nova Scotia.

Christensen, G., Velvin, R., Mannvik, H., Aasen, A.T., Eikrem, W., Engesmo, A., Fagerli, C.W., Gitmark, J., Tobiesen, A., Larsen, G. 2019. ØKOKYST Delprogram Norskehavet Nord (III), Årsrapport 2018. Miljødirektoratet rapport M-1343. 105 s.

Christie, H. Bekkby, T., Beyer, J., Jørgensen, N.M. (2019) ‘Can sea urchin grazing of kelp forests in the Arctic make rocky shore systems more vulnerable to oil spills?’, *Polar Biology*, 42, pp. 557–567.

Christie, H., Gundersen, H., Rinde, E. Bekkby, T. 2014 Stortareskog som indikator i «Naturindeks for Norge». NIVA-rapport, 6609-2014. 34 s.

Dunton, K. H., Reimnitz, E. R. K. and Schonberg, S. (1982) An arctic kelp community in the Alaskan Beaufort Sea, Arctic, pp. 465–484.

Espinoza, J., Chapman, A.R.O. (1983) Ecotypic differentiation of *Laminaria longicuris* in relation to seawater nitrate concentration. *Mar. Biol.* **74**, 213–218. <https://doi.org/10.1007/BF00413924>

Fagerli, C.W., Gitmark, J., Gundersen, H., Kile, M.R., Moy, S., Walday, M. (2022) Evaluering av komboindeksens egnethet for tilstandsklassifisering av makroalger isjøsonen. NIVA-rapport 7695-2022. 34 s.

Gundersen, H., Walday, M.G., Gitmark, J.K., Bekkby, T., Rinde, E., Syverud, T., Fagerli, C.W., Vedal, J., Tveiten, L.A., Christie, H., Moy, F.E. 2017. Nye klassegrenser for ålegress og makroalger i vannforskriften. Miljødirektoratet rapport M-788.

Kocak, F. and Kucuksezgin, F. (2000) ‘Sessile fouling organisms and environmental parameters in the marinas of the Turkish Aegean coast’.

Naranjo, S. A., Carballo, J. L. and Garcia-Gomez, J. C. (1996) ‘Effects of environmental stress on ascidian populations in Algeciras Bay (southern Spain). Possible marine bioindicators?’, *Marine Ecology Progress Series*, 144, pp. 119–131.

Paine, R. T. and Levin, S. A. (1981) ‘Intertidal landscapes: disturbance and the dynamics of pattern’, *Ecological monographs*, 51(2), pp. 145–178.

Rueness, J. and Fredriksen, S. (1991) An assessment of possible pollution effects on the benthic algae of the outer Oslofjord, Norway, *Oebalia*. Taranto, 17.

Sogn Andersen, G., Moy, F. E. and Christie, H. (2019) 'In a squeeze: Epibiosis may affect the distribution of kelp forests', *Ecology and evolution*, 9(5), pp. 2883–2897

Walday, M., Gundersen, H., Gitmark, J., Bekkby, T., Norderhaug, K.M., Pedersen, A. (PMC). 2015. Videreutvikling av makroalgeindeksene for klassifisering av miljøtilstand i kystvann. Miljødirektoratet rapport M-437. 60 s.

Vedlegg A.

Statistikk

Tabell 8. Oppsummerende resutater fra enveis ANOVA tester hvor sammenhengen mellom nedre voksedyp for sukkertare og stortare er undersøkt innenfor økoregionene Nordsjøen Nord, Nordsjøen Sør og Skagerrak, og innenfor vanntype 1-3.

Dataseett	Forklaringsvariabel	numDF	denDF	F-value	p-value
Nordsjøen Sør	Art (sukkertare, stortare)	1	239	15.3123	<0.0001
Nordsjøen Nord	Art (sukkertare, stortare)	1	88	0.031	0.8606
Skagerrak	Art (sukkertare, stortare)	1	588	2.1849	0.1399
Vanntype 1	Art (sukkertare, stortare)	1	395	11.04	<0.0001
Vanntype 2	Art (sukkertare, stortare)	1	278	1.6419	0.2011
Vanntype 3	Art (sukkertare, stortare)	1	205	0.6942	0.4057

Vitenskaplige artikler gjennomgått i litteraturstudie

Utvalgte vitenskaplige studier som ble vurdert relevant for vurdering av lystoleranse hos sukkertare sammenlignet med stortare, og sammenheng mellom begroende organismer og partikkelkonsentrasjon:

Ae Lee, J. and Brinkhuis, B. H. (1988) 'Seasonal light and temperature interaction effects on development of *Laminaria saccharina* (phaeophyta) gametophytes and juvenile sporophytes 1', *Journal of Phycology*, 24(2), pp. 181–191.

Airoidi, L. and Cinelli, F. (1997) 'Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore', *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 215(2), pp. 269–288.

Bartsch, I. et al. (2008) 'The genus *Laminaria* sensu lato: recent insights and developments', *European journal of phycology*, 43(1), pp. 1–86.

Carver, C. E., Mallet, A. L. and Vercaemer, B. (2006) Biological synopsis of the solitary tunicate *Ciona intestinalis*. Bedford Institute of Oceanography Dartmouth, Nova Scotia.

Dunton, K. H., Reimnitz, E. R. K. and Schonberg, S. (1982) 'An arctic kelp community in the Alaskan Beaufort Sea', *Arctic*, pp. 465–484.

Kain, J. M. and Jones, M. N. S. (1969) 'The biology of *Laminaria hyperborea*. V. Comparison with early stages of competitors', *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 49(2), pp. 455–473.

Kocak, F. and Kucuksezgin, F. (2000) 'Sessile fouling organisms and environmental parameters in the marinas of the Turkish Aegean coast'.

Makarov, M. V and Voskoboinikov, G. M. (2012) 'Effects of light and temperature on the Barents sea macroalgae', *Berichte zur Polar-und Meeresforschung*, 640, pp. 101–118.

Markager, S. and Sand-Jensen, K. (1992) 'Light requirements and depth zonation of marine

macroalgae', Marine Ecology-Progress Series, 88, p. 83.

Roleda, M. Y. and Dethleff, D. (2011) 'Storm-generated sediment deposition on rocky shores: Simulating burial effects on the physiology and morphology of *Saccharina latissima* sporophytes', Marine Biology Research, 7(3), pp. 213–223.

Rueness, J. and Fredriksen, S. (1991) 'An assessment of possible pollution effects on the benthic algae of the outer Oslofjord, Norway', Oebalia. Taranto, 17.

Saulquin, B. et al. (2013) 'Estimation of the diffuse attenuation coefficient K_d PAR using MERIS and application to seabed habitat mapping', Remote Sensing of Environment, 128, pp. 224–233.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) er Norges viktigste miljøforskningsinstitutt for vannfaglige spørsmål, og vi arbeider innenfor et bredt spekter av miljø, klima- og ressursspørsmål. Vår forskerkompetanse kjennetegnes av en solid faglig bredde, og spisskompetanse innen mange viktige områder. Vi kombinerer forskning, overvåkning, utredning, problemløsning og rådgivning, og arbeider på tvers av fagområder.



Norsk institutt for vannforskning

Økernveien 94 • 0579 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no