

Miljødirektoratets tallkuserprosjekt: Tallkusing av sukkertaredata



RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

Tittel Tallknytning av sukkertaredata	Løpenr. (for bestilling) 6737-2014	Dato 5.12.2014
	Prosjektnr. Undernr. O-14319	Sider Pris 48
Forfatter(e) Hege Gundersen Kjell Magnus Norderhaug Hartvig Christie Frithjof E. Moy (HI) Dag Ø. Hjermand Jens Vedal Anna Birgitta Ledang Janne K. Gitmark Mats G. Walday	Fagområde	Distribusjon
	Geografisk område Norske kystområder	Trykket NIVA
Oppdragsgiver(e) Miljødirektoratet		Oppdragsreferanse 14128193

Sammendrag

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Havforskningsinstituttet (HI) har gjennomført prosjektet «Tallknytning av sukkertaredata», på oppdrag fra Miljødirektoratet. Gjennom prosjektet har tilgjengelige data som kan forklare bortfall av sukkertare *Saccharina latissima* blitt statistisk analysert. Dataserier som er sammenstilt inkluderer datasett fra overvåking (KYS, KYO, ØKOKYST, IO og YO) og forskning (Sukkertareprosjektet og SaccRef) på sukkertare, samt relevante datasett om dens antatte påvirkningsfaktorer (RID, NVE, eKlima, Havforskningsinstituttets hydrografiske målestasjoner, fiskeridata, NAO, samt geofysiske GIS-lag). Analyser viser en generell nedgang i tilstanden av sukkertare på Sør-Vestlandet og Vestlandet, mens Skagerrak i tillegg har opplevd en markant nedgang i indre kystområder med påfølgende oppgang i løpet av 2000-tallet. De viktigste variablene som påvirket sukkertare i denne analysen er flere faktorer som har tilknytning til klimaendringer, tilførsler av næringssalter og partikler og det er sannsynlig at flere faktorer virker sammen. Forekomst av torsk hadde ingen målbar effekt for tilstanden av sukkertare. Selv om forklaringsgraden i analysene var lav var resultatene noenlunde konsistente og gjenspeiler et sett av flere faktorer som kan settes i sammenheng med klimaendringer og næringssalter som de viktigste påvirkningsfaktorene. I rapporten blir det pekt på mulige justeringer i den videre overvåkingen av de store sukkertareforekomstene, og det gis forslag på undersøkelser som kan gjennomføres for å avdekke årsakssammenhenger mellom ulike påvirkningsfaktorer og nedgang i sukkertare i de ulike regionene på Sør- og Vestlandet.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Sukkertare (<i>Saccharina latissima</i>)	1. <i>Saccharina latissima</i>
2. Overvåking	2. Monitoring
3. Påvirkningsfaktorer	3. Impact factors
4. Kyst-økosystemer	4. Coastal ecosystems



Hege Gundersen
Prosjektleder



Mats G. Walday
Forskningsleder

Miljødirektoratets tallknuserprosjekt

Tallknusing av sukkertaredata

Forord

Rapporten representerer sluttleveransen i prosjektet «Tallknusing av sukkertaredata «som er utført av Norsk institutt for vannforskning og Havforskningsinstituttet på oppdrag fra Miljødirektoratet (ref: 14128193).

Arbeidet har inkludert innsamling av relevante data fra overvåking og forskning på sukkertare og dens antatte påvirkningsfaktorer. Dataene er sammenstilt og analysert for å søke å finne den relative betydningen av de ulike påvirkningsfaktorene for sukkertarens tilstand. I henhold til kontrakten inneholder rapporten konkrete hypoteser og råd for videre oppfølging av sukkertareproblematikken som et innspill til forbedringen av overvåking av sukkertare langs norskekysten.

Dataene som er brukt kan sendes Miljødirektoratet i eget Excelark dersom ønskelig. Script (fra statistikkprogrammet R) kan også bli gjort tilgjengelig dersom ønskelig.

Prosjektleder har vært Hege Gundersen, som har utført sammenstillingen av data, de statistiske analysene, samt bidratt til rapporteringen. Viktige bidragsytere på tolkning av resultater, diskusjon og råd til forvaltningen har vært Kjell Magnus Norderhaug, Hartvig Christie og Frithjof E. Moy (Havforskningsinstituttet). Jens Vedal, Janne K. Gitmark og Anna Birgitta Ledang har bidratt til datainnsamling og uttrekk av databaser.

Oslo, 5. desember 2014

Hege Gundersen
Prosjektleder

Innhold

	1
Sammendrag	6
Summary	8
1. Innledning	10
2. Dataserier	10
2.1 Responsdata	12
2.1.1 Sukkertareovervåkingsprogrammet KYS (2009-2014)	12
2.1.2 Kystovervåkingsprogrammet KYO (1990-2014)	12
2.1.3 Sukkertareprosjektet (2005-2008)	13
2.1.4 Indre Oslofjord IO (1973-2014)	13
2.1.5 Programmet for overvåking av Ytre Oslofjord YO (2007-2014)	13
2.1.6 SaccRef (2012)	13
2.2 Påvirkningsfaktorer	13
2.2.1 Sukkertareovervåkingsprogrammet KYS (2009-2014)	14
2.2.2 Kystovervåkingsprogrammet KYO (1990-2014)	14
2.2.3 Ferrybox (2005-2014)	15
2.2.4 Elvetilførselsprogrammet RID (1990-2014)	15
2.2.5 eKlima (1970-2014)	16
2.2.6 Havforskningsinstituttets faste hydrografiske stasjoner	16
2.2.7 Vannføringsdata fra NVE	17
2.2.8 Fangstdata fra Fiskeridirektoratet	17
2.2.9 Geofysiske variable	17
2.2.10 NAO	17
3. Metoder	18
3.1 Sammenstilling av dataserier	18
3.2 Statistiske analyser	18
3.3 Variasjon i sukkertare over tid	19
3.4 Analyser av påvirkningsfaktorer	19
3.5 Geografiske variasjoner i påvirkningsfaktorer	20
4. Resultater	21
4.1 Variasjon i sukkertare over tid	21
4.2 Innledende analyser av påvirkningsfaktorer	23
4.2.1 Effekter av RID-variable på sukkertare	23
4.2.2 Effekter av eKlima-variable på sukkertare	25
4.2.3 Effekter av HIs hydrografimålinger på sukkertare	28
4.2.4 Effekter av NVEs vannføringsparametere på sukkertare	29
4.2.5 Effekter av Fiskeridirektoratets fangstdata på sukkertare	30
4.2.6 Effekter av overvåkingsprogrammets hydrokemiparametere på sukkertare	31
4.2.7 Effekter av geofysiske variable på sukkertare	33
4.3 Hovedanalyser av påvirkningsfaktorer	34
4.4 Geografiske forskjeller i påvirkningsfaktorer	36

5. Diskusjon	39
5.1 Hvilke faktorer påvirker sukkertarens bestandsutvikling?	39
5.2 Hvilke faktorer påvirker sukkertaren mest?	41
5.3 Hvordan har påvirkningen fra disse faktorene endret seg over tid?	41
5.4 Er det geografiske forskjeller mellom påvirkningsfaktorene?	42
5.5 Er det noe forskjell i hvilke faktorer som har størst påvirkning i løpet av året?	42
5.6 Hvordan påvirker disse faktorene sukkertaren under ulike livsstadier?	43
5.7 Konkluderende kommentarer	43
6. Forvaltningsråd	44
7. Referanser	46
8. Vedlegg	49

Sammendrag

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Havforskningsinstituttet (HI) har gjennomført prosjektet «Tallknusing av sukkertare-data», på oppdrag fra Miljødirektoratet. Gjennom prosjektet har tilgjengelige data som kan forklare bortfall av sukkertare *Saccharina latissima* blitt statistisk analysert. Dataserier som er sammenstilt inkluderer datasett fra overvåking (KYS, KYO, ØKOKYST, IO og YO) og forskning (Sukkertareprosjektet og SaccRef) på sukkertare, samt relevante datasett om dens antatte påvirkningsfaktorer (RID, NVE, eKlima, Havforskningsinstituttets hydrografiske målestasjoner, fiskeridata, NAO, samt geofysiske GIS-lag). Det har vært knyttet stor usikkerhet til årsakene til bortfall av sukkertare *Saccharina latissima* langs kysten av Sørlandet og Vestlandet og flere undersøkelser har hentet inn data om sukkertarens tilstand og mulige påvirkningsfaktorer. Denne undersøkelsen har utført statistiske analyser av disse etter hvert store mengdene av materiale av tilgjengelige undersøkelses- og overvåkingsdata for å identifisere årsaker til bortfall av sukkertaren. Analyser av tilgjengelig langtidssdata viser en nedgang i sukkertarens tilstand i de tre områdene Skagerrak, Sør-Vestlandet og Vestlandet. I Skagerrak var det en markant nedgang med påfølgende oppgang i løpet av 2000-tallet. Tilsvarende data fra Sør-Vestlandet og Vestlandet var ikke tilgjengelig. Resultatene viser at de viktigste variablene som påvirket sukkertare i denne analysen er flere faktorer som har tilknytning til klimaendringer og tilførsler av næringssalter, og siden analysen ikke har pekt på en enkelt faktor er det sannsynlig at flere faktorer virker sammen. De fleste analysene er utført som delanalyser med ulike påvirkningsfaktorer og sukkertarestatus.

- Elvetilførsler (RID-data) påvirket sukkertaren og det samme gjorde store tilførsler via elver (NVE-data). Partikkeltilførsler virket negativt, men andre faktorer virket ulikt pga forskjeller mellom region og avstand til elveutløp.
- Klimadata viste at store nedbørmengder hadde stor og negativ effekt på tilstanden for sukkertare. Sterk vind virket positivt for sukkertaretilstanden. Dette kan sees i sammenheng med beskyttelse fra vind og bølger (målt som bassengeffekt) som virket negativt, det vil si at vannbevegelse i mer åpne farvann virker positivt.
- Forekomst av torsk hadde ingen målbar effekt for tilstanden av sukkertare. Biologiske interaksjoner skjer andre steder, over tid og gjennom flere ledd med mulige positive effekter på påvekstalter som konkurrerer om lys og næring med sukkertaren. Slike biologiske interaksjoner og økosystemkaskader fanges ikke opp av analysene gjort i dette studiet.
- Miljøovervåkingsdata viste at mens høye konsentrasjoner av næringssalter i ytre kyst (i motsetning til indre kyst i analysen med RID-data) hadde en positiv effekt på sukkertaretilstanden, virket partikler negativt og tilstanden ble også dårligere med økende temperatur.

Totalt sett var forklaringsgraden av totalvariasjonen i dataene lav. Dette skyldes mest sannsynlig en kombinasjon av at hardbunnsamfunn naturlig varierer mye, de viktigste overvåkingstidsseriene er foreløpig korte og at de tilgjengelige dataene i liten grad matcher i tid og rom:

- Miljøet er preget av stokastiske hendelser (f.eks. bølger og stormer og lokal variasjon i bunnforhold) som ikke alltid fanges opp av overvåking og som naturlig forventes å påvirke samfunnene på en tilsynelatende tilfeldig måte. Slik naturlig variasjon er relativt stor på hardbunn.
- Analysene ble gjennomført for data over ulike tidsrom, og selve sukkertareinformasjonen er hentet i et relativt kort tidsrom i et program designet for langtidsovervåking, altså tidsserier for analyse på 20-30 år eller mer. Dataene har derfor begrenset verdi i å si noe om årsaker til endring over tid i sukkertaretilstanden. Resultatene gjenspeiler hva som forklarer forskjell i tilstanden mellom ulike steder innenfor tidsrommet som er analysert. For eksempel, avstand til elver var en viktig faktor for å forklare ulik sukkertaretilstand. Avstanden har imidlertid ikke endret seg over tid og er heller ikke viktig i seg

selv. Hva i elvepåvirkningen som er viktig vil kunne komme frem når overvåkings-tidsserien blir lengre.

- Det var dårlig match i tid og rom for biologiske data og forklaringsvariable. Et hovedprinsipp for god miljøovervåking er at overvåkingsprogrammet må designes spesifikt for formålet for å belyse den påvirkning den skal med riktig styrke (power), programmet må være «fit for purpose». De fleste av dataene brukt i denne studien er data som sier noe om sukkertarens tilstand og variable som kan si noe om årsaker til dårlig tilstand, men som ikke er samlet inn med dette formålet for øyet. Dataene matcher dårlig i tid og rom, de inneholder systematiske skjevheter (for eksempel fra perioden 1990-2008 finnes det først og fremst sukkertaredata fra ytre områder, fra 2009 også fra indre områder) og i noen tilfeller er dataene vanskelige å sammenligne (f eks er ulike næringssalter målt i ulike prosjekter). Resultatet er at selv om datamengden er relativt stor, inneholder dataseriene «punkter» og korte serier men mest huller. Dette setter klare begrensninger for hvordan de kan analyseres.

I tillegg ser sukkertare ut til å respondere noe ulikt på indre og ytre kyst, dette kan skyldes at den er en underlegen konkurrent til stortare på ytre kyst og at tilførsler og nedslamming har størst effekt i indre beskyttede farvann. Nedslamming av ulike partikkeltilførsler ser ut til å ha vært en viktigere faktor i Skagerrak enn på Vestlandet. Overgroing av påvekstalger er i andre studier funnet å være negativt for sukkertare (Andersen 2013), og forekommer mest i indre farvann på Sørlandet og Vestlandet, men data på påvekstalger finnes ikke for våre analyser.

Selv om forklaringsgraden i analysene var liten var de konsistente og gjenspeiler et sett av flere faktorer som kan settes i sammenheng med klimaendringer og næringssalter som de viktigste påvirkningsfaktorene. Det er lite som tyder på at en enkelt faktor har avgjørende betydning, og våre resultater understøttes bl.a. av data innhentet høsten 2014 og tidligere forskning som tyder på at påvirkning forklares av flere faktorer. Temperatur alene ser dermed ikke ut til å være årsak til at sukkertaren har forsvunnet. Analysene peker på mulige justeringer i den videre overvåkingen av de store sukkertareforekomstene, og kommer med forslag på undersøkelser som kan gjennomføres for å avdekke årsakssammenhenger mellom ulike påvirkningsfaktorer og nedgang i sukkertare i de ulike regionene på Sør- og Vestlandet.

Summary

Title: Factors affecting the quality and distribution of the kelp *Saccharina lattissima* in Norway

Year: 2014

Author: Gundersen, H., Norderhaug, K.M., Christie, H., Moy F.E., Hjermmann, D.Ø., Vedal, J., Ledang, A.B., Gitmark, J.K., and Walday, M.G.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6472-2

Norwegian Institute for Water Research (NIVA) and the Institute of Marine Research (IMR) has implemented this project, commissioned by the Norwegian Environment Agency. Through this project, available data that could explain the loss of sugar kelp *Saccharina lattissima* have been statistically analyzed. Data series compiled includes data from monitoring surveys (KYS, KYO, ØKOKYST, IO and YO) and research (“Sukkertarprosjektet” and “SaccRef”), as well as relevant data-series on impact factors (RID, NVE, eKlima, IMR hydrographic measuring stations, fisheries data, NAO and geophysical GIS layers). This survey was carried out to identify causes of loss of sugar kelp. Analyses of available long-term data show a decline in the condition of sugar kelp in the three areas Skagerrak, the southwestern and the west coast. In Skagerrak there was a marked decrease with subsequent increase during the 2000s. Corresponding data from southwestern and western Norway were not available. The results show that the most important variables that affected sugar in this analysis are several factors that relate to climate change and inputs of nutrients and since analysis has not pointed to a single factor it is likely that several factors work together.

- River Inflows (RID) affected sugar kelp as did large inflows via rivers (NVE) data. Particle Inflows seemed negative, but other factors affected differently due to differences between region and distance to river mouths.
- Heavy rainfall had large and negative effect on the state of the sugar kelp. Strong winds seemed positive for its condition. This can be seen in the context of protection from wind and waves (measured as a basin effect) that seemed negative, i.e. the movement of water in open water seems positive.
- The presence of cod had no measurable effect on the condition of sugar. Biological interactions happening elsewhere, over time and through several trophic levels with possible positive effects on epiphytic algae competing for light and food with sugar kelp. Such biological interactions and ecosystem cascades is not captured by the analysis done in this study.
- Environmental monitoring data showed that while high concentrations of nutrients in the outer coast (as opposed to inner coast analysis with RID data) had a positive effect on sugar condition seemed particles negatively and state also declined with increasing temperature.

Overall, the total level of explanation (R²) in the data is low. This is most likely due to a combination of naturally varying hard bottom communities, short time series of the most important data and that the data available to a limited extent matched in time and space.

- The environment is characterized by stochastic events (eg waves and storms and local variation in seabed conditions) that are not always captured by monitoring and naturally expected to affect communities in a random way. Such natural variability is relatively large at hard bottoms.
- The analyzes were conducted for the data of different time, and the sugar information is taken in a relatively short period of time in a program designed for long term monitoring, ie time series analysis of 20-30 years or more. The data therefore have limited value in saying something about

the causes of the change over time in sugar condition. The results reflect what explains the difference in condition between different sites within the period analyzed. For example, distance to rivers was an important factor to explain differences in sugar condition. The distance has not changed over time and is not important in itself.

- There was poor match in time and space for biological data and explanatory variables. A fundamental principle of good environmental monitoring is that monitoring must be designed specifically for the purpose to elucidate the influence properly with proper strength (power), the program must be "fit for purpose". Most of the data used in this study are data that say something about sugar kelp condition and variables which may say something about the causes of poor condition, but that is not collected with this purpose in mind. The data matches poor in time and space, they contain systematic biases (e.g., from the period 1990-2008 are primarily sugar kelp data from outer areas, from 2009 also from inner areas) and in some cases the data is difficult to compare (e.g. is various nutrients measured in various projects). The result is that although the amount of data is relatively large, contains data series "points" and short series but most holes. This sets clear limits on how they can be analyzed.

In addition, sugar kelp seemed to respond somewhat differently to inner and outer coast. This may be due to its inferior position towards *Laminaria hyperborea* on the outer coast and that inflows and sedimentation have the greatest effect in the inner protected waters. Particle inflows appears to have been a more important factor in the Skagerrak than in Western Norway. Thus temperature alone do not appear to be the reason why sugar kelp has disappeared. The analyzes point to possible adjustments in the ongoing monitoring of the major sugar deposits, and offer suggestions on surveys that can be undertaken to identify causal relationships between different factors of influence and a decline in sugar in the different regions in southern and western Norway.

1. Innledning

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Havforskningsinstituttet (HI) har gjennomført prosjektet «Tallknusing av sukkertare-data», på oppdrag fra Miljødirektoratet. Gjennom prosjektet har tilgjengelige data som kan forklare bortfall av sukkertare *Saccharina latissima* blitt statistisk analysert.

Tap av sukkertare ble oppdaget i 2002. Sukkertareprosjektet (2005-2008, Moy et al. 2009) viste at om lag 80 % av sukkertaren var forsvunnet på Skagerrakkysten og 40 % på Vestlandet. En mulig forklaring på dette bortfallet er kombinasjonen av klimaendringer og menneskeskapte tilførsler av næringsstoffer og partikler (Syvertsen m.fl. 2009, Moy & Christie 2012). Landbruk og avløp har stått for store nasjonale tilførsler til Skagerrak, mens akvakultur bidrar i stadig økende grad til utslipp på Vestlandet. I tidligere hypoteser har bortfall av sukkertare i mange områder vært knyttet opp mot store, lokale næringsstoffsutslipp som bidrar til eutrofiering og generelt dårlig miljøtilstand. Denne koblingen er imidlertid usikker og sannsynligvis høyst variabel mellom region og fra indre til ytre kyststrøk (Moy og Christie 2012). Rekruttering av nye tareplanter kan hindres ved at bunnen er dekket av sedimenterte partikler (Moy m fl. 2009) som fra tilførsler av partikler i fjorder med stor avrenning fra land eller store tilførsler fra elver. Indirekte effekter av økt temperatur kan ha ført til økt sediment-transport til indre kystområder, mens økt nedbrytning av organisk materiale kan ha ført til nedslamming i ytre kyst.

Utover sukkertareprosjektet har sukkertaren kun i liten grad vært gjenstand for forskning. Et viktig unntak er forskningsprosjektet SACCHARINA som var finansiert av Forskningsrådet under programmet HAVKYST, og ledet av NIVA. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med HI og produserte GS Andersen sin doktorgrad på sukkertarens vekst, overlevelse og reproduksjon (Andersen 2013). Hovedkonklusjoner fra dette arbeidet var at temperatur og dårligere lysforhold (særlig forårsaket av epifyttvekst) var faktorer som påvirker både nedre voksegrense og utbredelsen av sukkertare. Også Sukkertareprosjektet med årlige bevilgninger fra i Klif i perioden 2005-2008 har gitt viktig kunnskap om sukkertare. En viktig oppfølging av Sukkertareprosjektet har vært Sukkertareovervåkingen (2009-2012) og en del av stasjonene er også videre overvåket gjennom ØKOKYST (Moy et al. 2014, Naustvoll et al. 2014, Johnsen og Trannum 2014, Naustvoll et al. 2014, Lundsør og Bechmann 2014). Data fra disse overvåkingsprogrammene, samt Kystovervåkingsprogrammet, har vært sentrale i tallknusingsarbeidet.

Det er framsatt flere hypoteser om påvirkningsfaktorer som kan virke inn på tilstanden til sukkertare langs norskekysten. Dette er påvirkningsfaktorer som temperatur, ferskvannspåvirkning, lystilgang/formørking av vannet, tilslamming med både marin og terrestrisk opphav, reduserte bestander av stor kystfisk, vannbevegelse- og utskifting samt tilgang på næringsalter. Data på dette er gitt ved en rekke dataserier og forsøkt analysert i denne studien.

2. Dataserier

De dataseriene som skulle innhentes inkluderer datasett fra overvåking og forskning på sukkertare, samt kjente og relevante datasett om dens antatte påvirkningsfaktorer. Mange av disse dataene var allerede tilgjengelige i NIVAs databaser, mens andre offentlig tilgjengelige datasett er hentet fra blant annet Miljødirektoratets Vannmiljø-database, Meteorologisk institutt, Fiskeridirektoratet og Havforskningsinstituttet. De innhentede datasettene er sammenstilt på beste måte slik at vi kan analysere effekten av de foreslåtte påvirkningsfaktorene på tilstand av sukkertare.

Det er store utfordringer med å sammenstille så mange ulike datasett fra så mange ulike databaser, programmer og prosjekter. Det er viktig at de målte variable faktisk har den grad av samsvar i tid (dager, sesonger, år) og rom (stasjonsnett og dyp) at det er forsvarlig å koble dem. Videre kan det forekomme samvariasjon mellom flere av faktorene (både målte og ikke-målte) slik at det blir vanskelig å påvise noen kausale forklaringer – kun påvise eventuelle korrelasjoner. Vi har derfor, for flere av de foreslåtte

påvirkningsfaktorene (f.eks. klimatiske data), valgt å vurdere flere enn ett datasett, for å øke sjansen for god match mellom dataserier.

I figur 1 vises et kart over alle de romlige dataseriene brukt i dette prosjektet. Ved stasjonene fra de faste overvåkingsprogrammene, samt stasjonsnettene for klima- og vannføringsmålinger er det tatt gjentatte målinger over flere år, mens SaccRef-stasjonsnettet representerer kun én måling ved hver stasjon.



Figur 1. Oversikt over stasjonsnettet med symbolforklaring for alle dataseriene på sukkertare og påvirkningsfaktorer innhentet og sammenstilt i denne studien.

2.1 Responsdata

Data på sukkertare er innsamlet gjennom i hovedsak 6 ulike programmer/prosjekter, disse er Sukkertareovervåkingsprogrammet (KYS, og senere ØKOKYST), Kystovervåkingsprogrammet (KYO, senere ØKOKYST), Sukkertareprosjektet, Indre- og Ytre Oslofjord-programmene (IO og YO), samt prosjekter sammenstilt i prosjektet SaccRef. Alle disse er beskrevet nedenfor.

I hovedsak er sukkertareregistreringene gjort ved å måle sukkertarens **tilstand** på en 5-skali indeks som beskriver sukkertaren som 0) fraværende, 1) sjelden, 2) spredt, 3) vanlig og 4) skogdannende. Denne skaleringen er brukt i samtlige av de nevnte prosjektene og gjør at disse dataseriene kan slås sammen og benyttes i samme analyse. Videre kan man dele denne variabelen inn i «fraværende» (0) og «til stede» (1-4) og på den måten modellere sukkertarens **forekomst**. Vi har ikke analysert denne binomiske variabelen, da vi ikke syns vi har gode nok fraværersdata (0-observasjoner) i vårt datamateriale. I KYS blir det i tillegg gjort tareregistreringer i såkalte ruteanalyser der tetthet av sukkertare i ulike alderskategorier blir registrert, og som muliggjør analyser av **ulike stadier** i sukkertarens liv (kapittel 3.3), men som har begrensede muligheter for analyser av påvirkningsfaktorer på grunn av relativt sjeldne målinger av unge livsstadier (se kapittel 4.1).

2.1.1 Sukkertareovervåkingsprogrammet KYS (2009-2014)

Sukkertareovervåkingsprogrammet (KYS) og videreføringen av dette programmet gjennom ØKOKYST Skagerrak og Rogaland (Norderhaug m.fl. 2011a, 2011b, 2013a, 2013b, Trannum 2012a, 2012b, Moy et al. 2014) er et overvåkingsprogram for indre kystområder med fokus på sukkertare. KYS har pågått i perioden 2009-2012, med videreføring gjennom ØKOKYST etter dette. Gjennom dette programmet, som utføres av NIVA og HI, undersøkes tilstand, forekomst og mengde av alle arter alger og fastsittende dyr på 16 faste stasjoner i området Oslofjorden til Sognefjorden. Hydrografiske og hydrokjemiske støtteparametere måles også – disse er beskrevet under «2.2 Påvirkningsfaktorer».

Dataene fra KYS (og ØKOKYST) ble hentet ut fra NIVAs hardbunnsdatabase og bestod av transektdata som omfatter dyp fra 0 til 30 meter. For alle årene 2009-2014 er det gjort målinger i mai-juni, men fra 2009 finnes også målinger fra august og september. Når det gjelder 2014 dataene fra ØKOKYST var ikke disse ferdig kvalitetssikret og rapportert fra HI (pers. medd. Lars Naustvoll, HI), så disse kunne ikke inkluderes i dette prosjektet. Dette gjelder også dataene som ble samlet inn ekstraordinært i september etter den rekordvarme 2014-sommeren og kommentarer om dette er kun kort omtalt i diskusjonsdelen.

Sukkertareregistreringene fra KYS består av dykkertransekter der sukkertarens tilstand vurderes i en fem-skali indeks (se ovenfor), samt ruteanalyser (også gjort ved dykking), der det måles dekningsgrad av alger, inndelt i aldersklasser (voksen, liten plante, kimplante).

2.1.2 Kystovervåkingsprogrammet KYO (1990-2014)

Kystovervåkingsprogrammet (KYO) og videreføringen av dette programmet gjennom ØKOKYST består av et stasjonsnett i ytre kyst som er undersøkt gjennom en periode fra 1990 til i dag med dykkerregistreringer på hardbunn (dyr og planter). I likhet med KYS utføres dette programmet av NIVA og HI hvor forekomst og mengde av alle arter alger og fastsittende dyr har blitt undersøkt hovedsakelig på 16 stasjoner, samt flere mindre faste stasjoner. Stasjonene er fordelt i 4 regioner, kalt A (Ytre Oslofjord), B (Sørlandet), C (Sør-Vestlandet) og D (Vestlandet). Alle KYO-stasjoner er i ytre kyst og er således ikke primært designet for registreringer av sukkertare, men planten er allikevel registrert i tilfeller der den er til stede. Støtteparametere, som målinger planteplankton, næringssalter, partikler, temperatur, saltholdighet, mm måles også – disse er beskrevet under «2.2 Påvirkningsfaktorer». Dataene fra KYO (og ØKOKYST – ytre kyst) ble hentet ut fra NIVAs hardbunnsdatabase og bestod av i alt 2705 observasjoner fordelt på årene 1990-2013. Som i KYS, er målingene gjort i transekter og omfatter dyp fra 0 til 30 meter. Nær sagt alle målingene er gjort om sommeren i perioden månedene mai og juni.

Sukkertareregistreringene fra KYO består, som for KYS, av dykkertransekter med vurdering av sukkertarens tilstand, samt ruteanalyser av dekningsgrad av ulike tarearter, fordelt på aldersklasser.

2.1.3 Sukkertareprosjektet (2005-2008)

Det såkalte Sukkertareprosjektet ble støttet av Klif i perioden 2005-2008 (Moy m.fl. 2009). Kartleggende undersøkelser over tilstanden for sukkertare ble da gjort rutinemessig ved 10 stasjoner i Skagerrak, samt tilstandsundersøkelser i Rogaland og Hordaland og dykkeundersøkelser på gamle stasjoner i Vest-Agder. Data på bunnslam (og akkumuleringshastighet) finnes for en del av lokalitetene undersøkt i Sukkertareprosjektet, men var ikke tilgjengelig på et ordnet format. Vi gjorde derfor ingen innsats på å samle inn disse data på nedslamming uansett ikke er målt inn i de andre prosjektene og derfor ikke ville gitt oss mulighet til å analysere noe utover det som allerede er gjort i Sukkertareprosjektet. Heller ikke dataene på sukkertarens tilstand var på et ordnet format, men mye arbeid er blitt lagt ned her i å spore opp filer og sammenstille disse med tilhørende geografisk posisjon, dato og dyp før kobling ble gjort mot det samlede datasettet på sukkertaretilstand. Selv om sukkertareprosjektet kun pågikk i perioden 2005-2008, finnes også i dette materialet en del data på sukkertare samlet inn i perioden fra 1990, 2003 og 2004, altså før prosjektstart i 2005, og som ble brukt som sammenligningsgrunnlag i sukkertareprosjektet. Alle data på sukkertarens tilstand fra sukkertareprosjektet (2005-2008), samt data fra 1990, 2003 og 2004 er inkludert i vårt samlede datamateriale. De innsamlede dataene fra sukkertareprosjektet bestod av totalt 913 individuelle observasjoner – alle fra 6 meters dyp.

2.1.4 Indre Oslofjord IO (1973-2014)

Programmet «Overvåking av forurensningssituasjonen i Indre Oslofjord» (IO) har pågått med årvisse undersøkelser siden 1973 (se f.eks. Berge m.fl. 2011). Data herfra er hentet fra NIVAs hardbunnsdatabase og viser sporadiske sukkertaremålinger fra 1981 til 2013. Det manglende mønsteret i innsamlingen skyldes for det meste at sukkertare kun er funnet i noen få tilfeller i Indre Oslofjord, og at «påvist fravær» av sukkertare ikke så lett kan skilles fra «ikke målt» i databasen. En slik inndeling ville krevet en større gjennomgang av hvert datapunkt i basen, noe det ikke var rom for i dette prosjektet.

2.1.5 Programmet for overvåking av Ytre Oslofjord YO (2007-2014)

Programmet for overvåking av Ytre Oslofjord (YO) dekker blant annet fagområdene marinbiologi, marinkjemi og oseanografi. Programmet utføres som et samarbeid mellom NIVA og Havforskningsinstituttet (HI). Transektmålinger på hardbunn var innlagt i NIVAs hardbunnsdatabase fra 2007 (Waldoy m.fl. 2012). Da flere felles stasjoner inngår i både YO og KYO er de fleste YO-stasjonene dekket av KYO, men elleve stasjoner med registreringer av sukkertare i årene 2007 og 2010 var aktuelle å hente fra denne dataserien og inkludert i det samlede materialet. Som i IO-datasettet (kapittel 2.1.4), er manglende tilstedeværelse av sukkertare heller ikke her inkludert i materialet.

2.1.6 SaccRef (2012)

NIVA hadde i 2012 et utviklingsprosjekt for Miljødirektoratet der indikatoren for sukkertare skulle oppdateres og forbedres i Norsk naturindeks (Gundersen m.fl. 2012). I 2012 ble det i regi av dette prosjektet gjort feltregistreringer av sukkertare på 723 stasjoner langs hele vestkysten fra Rogaland til Møre- og Romsdal. Registreringer av sukkertare ble da gjort på dyp som varierte mellom 1 og 40 meter. I dette prosjektet samlet vi også transektdata på sukkertare fra diverse andre overvåkings- og resipientundersøkelser i Agder og Sogn- og Fjordane – disse er også inkludert i det samlede datamaterialet (Gundersen m.fl. 2012).

2.2 Påvirkningsfaktorer

Vi har samlet dataserier på kjente og potensielle påvirkningsfaktorer på sukkertare. Disse er beskrevet nedenfor og omfatter data på klimatiske forhold, vanntilførsel og vannføring, næringssalt-tilførsel med mer. Vi har i tillegg gjort en innsats for å få tak i HIs 90 år lange dataserie på strandnottrekk fra et tett stasjonsnett langs hele Skagerrakkysten for å analysere mulige effekter av mengden ungfisk av ulike

fiskearter i Skagerrak. Imidlertid mente HI at strandnot-dataserien egnet seg dårlig å koble på overvåkingsdataene av sukkertare og dataene ble ikke gjort tilgjengelig for denne studien. I stedet har vi brukt fangstdata på torsk fra Fiskeridirektoratets fiskerirapporteringer (se kapittel 2.2.8). Siden vi hadde opptil flere datasett på klima (se beskrivelse av eKlima, HIs hydrografiske målestasjoner, NAO og hydrokjemidataene i egne kapitler under 2.2, som alle inkluderer klimadata), valgte vi å redusere vekk et tilgjengelig ICES-datasett på temperatur og salinitet, da den romlige oppløsningen ikke var så god (stort sett bare Oslofjorden og havet utenfor Rogaland som hadde noenlunde gode dataserier med månedlige målinger fra 1990 frem til i dag). I Miljødirektoratets database Vannmiljø og NIVAs hydrokjemidatabase «AquaMonitor» eksisterte målinger på turbiditet kun i 2005-2011, så denne parameteren har derfor ikke blitt analysert for effekter på sukkertarens tilstand. Heller ikke TSM («Total Suspended Matter») hadde tilfredsstillende dekning da den i hovedsak bare var målt ved to stasjoner (Arendal2 og Jomfruland) i perioden før 2005.

Flere av dataseriene (KYS, KYO og HI) inneholder målinger fra ulike dyp i hele vannsøylen. Der dette er tilfelle, har vi valgt å bruke målingene fra 10 meters dyp som vi mener er mest representativt for sukkertaren som har sin dybdeutbredelse ned til litt under 30 meter, men som i vårt datamateriale er målt på gjennomsnittlig 10,1 meter.

2.2.1 Sukkertareovervåkingsprogrammet KYS (2009-2014)

Fra hydrokjemistasjonene i KYS hentes data på næringssalter, partikulært materiale, klorofyll a, oksygen, saltholdighet, temperatur og siktdyp (Norderhaug m.fl. 2013b). De fire hydrokjemistasjonene knyttet til KYS og brukt i denne studien er lokalisert i Breviksfjorden, Hidlefjorden, Nordfjorden/Risør og Topdalsfjorden. KYS-dataserien er hentet fra NIVAs AquaMonitor (se en oversikt over stasjonene i AquaMonitor i vedlegg 1) og har blitt sammenstilt med KYO-dataene. Se kapittel 2.2.2 for felles prosedyrer for KYS og KYO-dataseriene med hensyn til sammenstilling til felles format og estimering av verdier for manglende observasjoner basert på korrelasjoner med målinger gjort på andre dyp (se kapittel 2.2.2 og 3.1). Tabell 1 viser KYS hydrokjemivariablene som er blitt analysert i denne studien.

Tabell 1. Alle hydrokjemivariablene hentet og sammenstilt fra KYS (gjelder også KYO og YO).

Variabel	Parameter	Enhet	N
Temp	Temperatur	°C	2728
Sal	Salinitet	psu	2700
Secchi	Siktedyp	m	2451
Chla	Klorofyll a	µg/l	2307
NH4	Ammonium	µg/l	1419
NO3+NO2	nitrat+nitritt	µg/l	2065
PO4	Fosfat (ufiltrert)	µg/l	2469
POC	Partikulært organisk karbon	µg/l	2391
PON	Partikulært organisk nitrogen	µg/l	2391
POP	Partikulært organisk fosfor	µg/l	2391
TOTN	Totalnitrogen	µg/l	2602
TOTP	Totalfosfor	µg/l	2611

2.2.2 Kystovervåkingsprogrammet KYO (1990-2014)

Totalt åtte hydrokjemistasjoner (Arendal2, Jomfruland, Jomfrulandsrenna, Langesund, Lista, Raunefjorden, Utsira og Færder/Torbjørnskjær) er knyttet til Kystovervåkingsprogrammet (noen av disse er også overlappende med stasjonsnettet i YO). KYO-dataserien er hentet delvis fra NIVAs AquaMonitor og delvis fra Miljødirektoratets Vannmiljø. Ingen av databasene inneholdt en komplett serie for alle aktuelle stasjoner (se en oversikt over stasjonene i AquaMonitor og Vannmiljø i vedlegg 1) så disse dataene måtte sammenstilles for å gjøres noen lunde komplett. Sammenstillingen viser også at enkelte år- og stasjonskombinasjoner der undersøkelser har blitt utført, allikevel mangler i begge basene (for det

meste data fra 2013 og 2014, samt alle overvåkingsdata for 2012). En stor jobb ble gjort på disse to datasettene, samt Excelfiler for 2013 sendt fra HI (Lars Naustvoll), for å sammenstille dem på et felles format, med felles enheter for måleparametere, etc. For best mulig å representere tilstanden for sukkertare valgte vi 10 meters dyp som representant for hydrokjemidataene. Imidlertid var ikke hydrokjemidatasettet fri for huller (gjelder alle dyp – også 10 meter) og for å hindre for mange manglende observasjoner i datasettet ble en del av disse hullene estimert med verdier beregnet fra korrelasjoner med andre dyp (se kapittel 3.1). Som i KYS er det også her gjort målinger av planteplankton, næringssalter, partikulært organisk materiale, klorofyll a, oksygenforhold, siktedyp, temperatur og saltholdighet (Tabell 1).

2.2.3 Ferrybox (2005-2014)

NIVAs Ferrybox-system for innsamling, analyse og presentasjon av vannkvalitetsdata kombinerer data fra sensorer om bord i rutegående skip med data fra miljøsatellitter og fra innsamlete vannprøver. Ferrybox-systemet måler hvert minutt temperatur, saltinnhold, oksygen, klorofyll og partikkelinnhold på fire meters dyp langs skipets faste rute. Dette tilsvarer en måling ca. hver 500 meter. Noen av skipene med Ferrybox-utstyr har også avansert utstyr for måling av sol-innstråling og refleksjon fra havflaten. Rutene går mellom Bergen og Kirkenes, Bergen og Hirtshals, Oslo og Kiel, Tromsø og Longyearbyen. Ferrybox-data inngår i denne studien gjennom KYO og KYS-programmene siden flere av overvåkingsprogrammets faste stasjoner er blitt erstattet/supplert med måledata fra noenlunde faste målepunkter langs fergerutene. På samme måte som beskrevet i 2.2.2 ble hydrokjemiparametere skalert til å representere 10 meter ut fra målingene gjort på fire meters dyp.

2.2.4 Elvetilførselsprogrammet RID (1990-2014)

Elvetilførselsprogrammet (RID, Skarbøvik m.fl. 2011) omfatter målinger i 46 norske vassdrag, hvorav de 10 største (såkalte hovedelver) overvåkes månedlig eller oftere, og 36 mindre vassdrag som overvåkes fire ganger i året. Målinger fra 24 elver og vassdrag er valgt ut på grunnlag av beliggenhet og brukt i denne studien. Det analyseres for seks fraksjoner av blant annet næringssalter, suspendert partikulært materiale, pH, ledningsevne og totalt organisk karbon. Innrapporterte tall for direkteutslipp fra industri og avløpsreanlegg samles inn, mens utslipp fra fiskeoppdrett beregnes basert på bl.a. produksjonstall. Perioder uten målinger, samt områder som ikke dekkes av måleprogrammet kan beregnes ved hjelp av beregningsmodellen TEOTIL (Tjomsland m.fl. 2010), men da verken sukkertaredata eller problemstilling i dette studiet er av en art som egner seg for en slik detaljert oppløsning, har vi ikke gjort bruk av TEOTIL i denne studien.

RID-datasettet bestod av målinger på i alt 9 ulike parametere som var relevante i sukkertaresammenheng. Disse var NH₄, NO₃, PO₄, TOC, TOTN, TOTP, SPM, DisMean og DisTot (se forklaring i tabell 2). Hver parameter er i tillegg til å være målt i samme måned som sukkertareobservasjonene, også sjekket for ulike forsinkelser, representert ved målinger gjort én, to og tre måneder før målingene av sukkertare, samt summen av de tre siste månedene. Dette ble gjort for å ta hensyn til tiden det tar for elvetilført materiale å nå sukkertaren, samt potensielle sen-effekter og akkumulerte (summen av de tre siste mnd) effekter i tares livssyklus. Preliminære tester viste at effektene var sterkest på direkte målinger (altså ingen forsinkelser), derfor inkluderte vi ikke forsinkelser utover 3 måneder. Totalt ble dette 45 (9*5) ulike RID-variable. Dette datasettet var noenlunde komplett og medførte få huller for disse variablene i det samlede datamaterialet.

Tabell 2. Forklaring til RID-parameterne.

Kode	Navn	Enhet	N
NH4	Ammonium	Kg	4340
NO3	Nitrat	Kg	4867
PO4	Fosfat	Kg	4867
TOC	Total organisk Karbon	Kg	4396
TOTN	Totalt Nitrogen	Kg	4867
TOTP	Totalt Fosfor	Kg	4867
SPM	Suspendert tørrstoff	Kg	4867
DisMean	Gjennomsnittlig vannføring	m3/s	4867
Distot	Total vannføring	m3	4867

2.2.5 eKlima (1970-2014)

Klimatiske data fra perioden 1970 til i dag ble lastet ned fra Meteorologisk institutt sin nettbaserte database eKlima. Data finnes lengre tilbake i tid enn dette, men 1970 var tilstrekkelig for vår studie. Datasettet bestod av målinger på i alt 12 ulike parametere som kunne tenkes å være relevante i sukkertaresammenheng. Disse er gjengitt og forklart i tabell 3. På samme måte som RID-dataene er hver av eKlima-parameterne representert ved 0, 1, 2 og 3 måneders forsinkelse i forhold til når sukkertaremålingene ble gjort, samt summen av de tre siste månedene. Potensielt kunne vi testet for ytterligere forsinkelser, men valgte å sette samme grense her som for RID-dataene av sammenligningsgrunner og for å begrense prosesseringstid. Totalt ble dette 60 (12*5) ulike eKlima-variable. Sjømalte data er kun knyttet til 931 av observasjonene, mens de andre eKlima-variablene varierte i antall fra 2875 til 5303.

Tabell 3. Forklaring til eKlima-parameterne.

Kode	Navn	Enhet	N
FFM	Middel av vindhastigheter (hovedobservasjoner)	m/s	4870
FFX	Høyeste vindhastighet (hovedobservasjoner)	m/s	4870
FGX	Kraftigste vindkast	m/s	2950
FXX	Kraftigste middelvind	m/s	4173
RR	Nedbør	mm	2875
TAM	Middeltemperatur	°C	5303
TAN	Minimumstemperatur	°C	4834
TAX	Maksimumstemperatur	°C	4834
TWM	Midlere sjøtemperatur	°C	931
TWN	Laveste sjøtemperatur	°C	931
TWX	Høyeste sjøtemperatur	°C	931
VSUM	Varmesum	Grad-dager	5279

2.2.6 Havforskningsinstituttets faste hydrografiske stasjoner

Havforskningsinstituttets hydrografimålinger gjøres på åtte faste oseanografiske stasjoner ved standard dyp fra Lista til Nordkapp (Sætre m.fl. 2003) og fire av disse (Bud, Indre Utsira, Lista og Sognesjøen) er brukt i denne studien. Målingene gjøres vanligvis 1-2 ganger per måned, med unntak av stasjonen Skrova som observeres 3-4 ganger per måned og har pågått fra 1935 til i dag. Målinger gjøres på saltholdighet, temperatur og trykk på standard måledyp på: 0 m, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250 og 300 m. Kun målinger på ti meter er brukt i denne studien (se forklaring på dette i kapittel 2.2 «Påvirkningsfaktorer»). Datasettet var i utgangspunktet ikke helt komplett, og de hullene som eksisterte ble erstattet med estimerte verdier basert på verdier målt på andre dyp (se kapittel 3.1). Havforskningsinstituttets data fra hydrografiske stasjoner har vi for enkelthets skyld kalt for HIs hydrografidata senere i rapporten.

2.2.7 Vannføringsdata fra NVE

Vi hadde tilgjengelig fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) vannføringsdata (månedsgjennomsnitt) fra alle såkalte hovedelver, som i vårt studieområde er elvene Glommavassdraget, Drammensvassdraget, Numedalslågen, Skiensvassdraget, Otra, Orrelva og Vossovassdraget. Det opprinnelige datasettet gjaldt data frem til 2011, men har nå blitt supplert med nye data frem til og med desember 2013. Disse dataene er sjekket for samme forsinkelser som beskrevet for RID og eKlima-dataene. Vi gjør oppmerksom på at vannføringsdataene fra NVE i utgangspunktet er de samme som variabelen DisTot fra RID-datasettet, men at her ser vi kun på de største elvene som representanter for regionsvis vannføring, mens i RID-datasettene ønsket vi å koble sukkertaretilstanden til mengden tilført materiale på så lokalt nivå som mulig.

2.2.8 Fangstdata fra Fiskeridirektoratet

NIVA har gjennom et tidligere prosjekt fått fra Fiskeridirektoratet et stort fangstdatasett av torsk – med relativt høy romlig (alle fangstområder/lokasjoner i hele Norge) og tidsmessig (månedsvise for perioden 1977-2011) oppløsning. Dette datasettet ønsket vi å supplere med nyere fangstdata, fra Fiskeridirektoratet, men disse dataene kom for sent til å kunne implementeres i det samlede datasettet. Derfor strekker dette datasettet seg kun til 2011. Dataene er sammenstilt slik at vi har summert all fangst av torsk fra hvert av de fire havområdene Skagerrak, Vikingbanken, Eigersundbanken og Storegga – Frøyabanken. Vi har ikke brukt månedsforsinkelser som for de tidligere datasettene, da dette vil falle skjevt ut på grunn av ulik fangstintensitet i ulike deler av året. I tillegg har ikke fiskepopulasjoner en dynamikk som varierer med samme hastighet som f.eks. klima. Derfor har vi summert fangst gjort hele det foregående året (juli-juni) som sukkertaremålingene ble gjort. Vi testet også for andre forsinkelser (blant annet et halvt år og et par år tilbake i tid), men fangsten gjort i de ulike havområdene var såpass stabile over tid at disse variablene var sterkt korrelerte med fangstvariabelen fra det foregående året, så da ble kun den ene variabelen brukt.

2.2.9 Geofysiske variable

NIVAs geofysiske, romlige modeller på vannbevegelse (bølgeeksponering), dyp, skråning (helningsgrad) og kurvatur er blitt brukt i mange ulike studier (se f.eks. Bekkby m.fl. 2009) og har vist å forklare mye av den romlige variasjonen i utbredelse av sukkertare og andre tarearter, og kan derfor også potensielt ha betydning for variasjoner i sukkertarens tilstand. Dog kan de geofysiske variablene ikke forklare noe av den eventuelle endringen i sukkertaretilstand over tid, siden disse variablene ikke varierer i tid. De romlige modellene inneholder nær sagt ingen huller, bortsett fra ved noen få sukkertarestasjoner som er gjort langt inne i Sognefjorden, der modellene ikke dekket.

Dyp og skråning er selvforklarende, mens kurvatur og basseng kan beskrives som henholdsvis «forskjellen mellom dypet i ett punkt og det omkringliggende dypet», og «utdypninger på en noe finere skala enn kurvaturmåleb». Mer tekniske og begrepsmessige forklaringer på kurvatur og basseng kan finnes i Bekkby m.fl. (2008). Bølgeeksponering er forklart i Isæus (2004). NIVAs modell på strøm, som er en annen form for vannbevegelse, finnes kun for Indre Oslofjord og Arendalsområdet (som beskrevet i NIVAs tilbud til Miljødirektoratet) innen vårt studieområde og var derfor ikke aktuelt å ta med i denne studien. Denne bassengvariabelen er ofte sterkt knyttet til vannutskiftningen og kan til en viss grad ses på som en proxy for vannutskiftning. Vannamplitude ble vurdert, men funnet å korrelere såpass mye med breddegrad (og dermed alt annet som varierer med breddegrad), at en potensiell effekt av denne variabelen ikke vil kunne kobles mot vannamplitude. Derfor ble denne variabelen ikke inkludert. Den romlige dybdemodellen (DEM) ble ikke brukt i noen analyse, da vi hadde feltmålt dyp for alle sukkertareobservasjoner og anså disse målingene som mer presise enn modellert dyp. Feltemålt dyp ble inkludert som kovariabel i alle analyser av sukkertarens tilstand (se kapittel 3.3 og 3.4).

2.2.10 NAO

Vinterbaserte (desember - februar) NAO-indekser, som er et mål på vindmønsteret over nord-Atlanteren (Bjerknes 1964), ble lastet ned fra National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) via Climate Data Guides nettsider. NAO-indeksene gis per år og varierer heller ikke i rom og kan derfor kun

bidra til å forklare noe av den årlige variasjonen i sukkertaretilstand. 2014-indeksene er ikke estimert ennå og er derfor ikke inkludert i datasettet.

3. Metoder

3.1 Sammenstilling av dataserier

Arbeidet med å hente inn og sammenstille dataseriene på sukkertare og påvirkningsfaktorer har vært omfattende. Enkelte dataserier tok tid å innhente fra eksterne kilder og noen av dem kom ikke i tide til å bli inkludert i analysene.

For dataseriene på hydrokjemi fra KYO og KYS valgte vi målinger tatt ved 10 meters dyp til å representere sukkertarens dybdeutbredelse, som er fra 0 til litt under 30 meter, avhengig av breddegrad, lysforhold, mm (se kapittel 2.2). I begge hydrokjemidatasettene manglet noen målinger ved ulike dyp, av og til også på 10 meter. Dette var ikke systematiske hull, men forekom ved enkelte stasjoner, i enkelte år og måneder, muligens på grunn av teknisk svikt. En del av disse hullene ble imidlertid erstattet med estimerte verdier basert på målinger gjort på et annet dyp ved samme stasjon. Estimert ble beregnet ut fra korrelasjoner gjort mellom målinger tatt ved 10 meter og enten 2, 5 eller 20, avhengig av hvilke dyp det var gjort måling på. Slike estimerte verdier erstattet også en del av hullene i HIs hydrografidata (Havforskningsinstituttets hydrografiske målinger, se kapittel 2.2.6). Dette var en tidkrevende jobb, men sannsynligvis verdt innsatsen da det gjorde det samlede materialet mer komplett og dermed bedre egnet for analysering av påvirkningsfaktorer.

Vi importerte stasjonsnettet til alle de tilgjengelige dataseriene på sukkertare og påvirkningsfaktorer til et GIS-prosjekt i ArcView 10.0 (ESRI 2011). Sukkertaredataene ble der koblet til den nærmeste av stasjonene for hver dataserie over påvirkningsfaktorer ved bruk av overlay-analyser (Join, ESRI 2011) og avstanden ble beregnet. En slik avstandsvariabel ble brukt som kovariabel (kapittel 3.2) i alle innledende analyser (kapittel 4.1) for å teste for og korrigere for det faktum at målinger av påvirkningsfaktorer gjort nær sukkertaremålingene sannsynligvis vil forklare variasjonen bedre enn målinger lengre unna. Avstand til målestasjon for påvirkningsstasjon er interessant i seg selv, men også viktig å ha med i for å øke forklaringsgraden fra påvirkningsfaktorene. I GIS ekstraherte vi også geofysiske variable fra NIVAs GIS-modeller på dyp (Digital Elevation Model, DEM), skråning (eng: slope), bølgeeksponering, kurvatur og basseng ved bruk av funksjonen «Extract values to points» (ESRI 2011).

Når den romlige koblingen mellom sukkertarestasjoner og stasjoner for alle påvirkningsfaktorene var gjort i GIS ble de faktiske målte verdiene koblet sammen ved bruk av VLOOKUP i Excel.

3.2 Statistiske analyser

På grunn av tilstandsdataenes struktur (ordinale verdier mellom 0 og 4) har vi måttet bruke såkalte «Cumulative Link Models» (CLMs, Christensen 2014) som tar hensyn til at tilstandsklassene har en gradert orden, men at intervallene mellom klassene ikke nødvendigvis har en fast størrelse. Denne metoden har mange funksjoner, men har dessverre dårlige illustrasjonsmuligheter. Derfor har vi i tillegg til CLM analysert modellene ved bruk av «Generalized Additive Models» (GAMs, Wood 2011) med antatt normalfordelte data, for å kunne lage tolkbare figurer. Antagelsene er ikke helt til stede for å bruke denne metoden, derfor skal vi ikke legge for mye vekt på de statistiske resultatene (p-verdier, etc.) fra disse analysene, men vi tror allikevel at figurene skal gi et riktig bilde av hvordan sukkertarens tilstand responderer på de ulike påvirkningsfaktorene. I både CLM'ene og GAM'ene ønsket vi å inkludere stasjon som såkalt «random factor» for å ta hensyn til en potensiell avhengighet mellom målinger tatt ved samme stasjon. Dette fungerte bra i GAM-analysene, men i CLM-analysene fikk vi ikke modellene til å «konvergere» - antageligvis på grunn av mange stasjoner uten replikate målinger. I CLMene brukte vi da i stedet Fylke som random factor, for i hvert fall å forhindre mesteparten av pseudoreplikasjonen. De metodiske valgene som er gjort her har vært en nødvendighet på grunn av at sukkertaretilstand måles ved

en 5-skali indeks som ikke er designet med tanke på å kunne brukes i statistiske beregninger. Videre er det sammenstilte datamaterialet langt fra balansert med hensyn til gjentatte besøk på stasjoner over tid, selv om mange av materialets komponenter (overvåkingsdatasettene) er det.

For å velge den beste modellen blant mange aktuelle kandidatmodeller, og således rangere variablene etter hvor stor innflytelse de har på sukkertarens tilstand, brukte vi Akaikes Information Criterium (AIC). I denne prosessen har vi testet alle mulige kombinasjoner av alle variablene i en full modell. Når antallet variable er stort, blir antallet kombinasjoner, og altså antall modeller testet, eksponentielt høyere og prosesseringstiden øker tilsvarende. Eksempelvis tok modellseleksjonen fra hovedanalysen over ett døgn å kjøre. Vi hadde fra NIVAs prosjekt POVER (Norderhaug m.fl. upublisert) tilgjengelig et R script (R Core Team 2014) som vi modifiserte og videreutviklet for å tilpasses nye data og variabler i denne studien. I alle analyser av effekter av påvirkningsfaktorer på sukkertarens dyp og sesong inkludert som kovariable, samt avstand til stasjonen der påvirkningsfaktoren er målt, der det er aktuelt. Sesong er en kategorisk variabel inndelt i de fire sesongene: vår (mars-mai), sommer (juni-august), høst (september-november) og vinter (desember-februar).

3.3 Variasjon i sukkertare over tid

Vi har modellert variasjonen i sukkertarens tilstand over tid med år som forklaringsvariabel. I tillegg til de vanlige kovariablene dyp og sesong (se kapittel 3.2), samt stasjon som random factor, har vi her også inkludert en faktor som deler datasettet inn i ytre og indre områder. De ytre områdene er typisk stortarehabitat i mer eksponerte områder og hovedsakelig representert ved KYO-, samt noen YO-data. Indre områder er typisk sukkertarehabitat i mer beskyttede områder og stasjonene der er hentet fra KYS, Sukkertareprosjektet og SaccRef, samt noe IO og YO-data. Interaksjonen mellom år og faktoren «indre-ytre» er inkludert for å se hvorvidt tilstanden har utviklet seg ulikt i indre og ytre kystområder. GAM (se kapittel 3.2.1) er brukt til dette formålet, da denne tillater ikke-lineære sammenhenger og har gode visualiseringsverktøy.

For å se på utviklingen i sukkertarens ulike livsstadier over tid har vi brukt ruteanalysene fra KYS- og KYO-programmene som inneholdt mål på sukkertarens tetthet (antall planter per kvadratmeter) fordelt på de tre ulike utviklingsstadiene «voksen plante», «ung plante» og «kimplante». Utviklingen av disse over tid er vist i diagrammer for hver av de fire KYO-regionene A (Ytre Oslofjord), B (Sørlandet), C (Sør-Vestlandet) og D (Vestlandet) for å vise eventuelle regionale forskjeller. Diagrammer er laget for KYO og KYS-datasettene separat (kapittel 4.1).

3.4 Analyser av påvirkningsfaktorer

Det ferdig sammenstilte datasettet inneholdt i alt mer enn 5000 sukkertareobservasjoner og mer enn 120 mulige forklaringsvariabler, inkludert tidsforskyvninger (eng: «time lags») for å teste for mulige forsinkelser i respons hos sukkertare. Det er opplagt at alle disse variablene ikke kan analyseres i én og samme analyse; verken med hensyn til antall frihetsgrader, det faktum at mange av variablene er høyt korrelerte, samt med hensyn til prosesseringstid. Derfor måtte vi gjøre analysene i en trinnvis prosess hvor vi først tester innbyrdes viktighet mellom variable innen samme påvirkningsdataserie (kapittel 4.1 «Innledende analyser»), før endelig modellseleksjon kunne gjøres for å vurdere viktigheten av påvirkningsfaktorene mot hverandre (kapittel 4.3 «Hovedanalyser av påvirkningsfaktorene»). Vi har valgt å først gjøre analyser på grupper av variable som stammer fra samme serie av påvirkningsfaktorer for å velge hvilke av disse som best forklarer variasjonen i sukkertarens tilstand. Dette er gjort basert på AICc-verdier til ulike kandidatmodeller som kun inkluderer én forklaringsvariabel i tillegg til kovariable (se nedenfor). Den beste fra hver analysegruppe tas til slutt videre i neste og siste analysestrinn – hovedanalysene.

For dataseriene på RID- og eKlima ble de innledende analysene ytterligere delt i to trinn hvor vi først testet for hvilken forsinkelse (0 mnd, 1 mnd, 2 mnd, 3 mnd eller summen av de tre foregående måneder) som best forklarte sukkertaretilstand ved å sammenligne de 5 ulike forsinkelsene for hver av parameterne, og deretter testet hvilke av de beste fra trinn én som skulle representere henholdsvis RID og eKlima i hovedanalysene.

De innledende analysene er i utgangspunktet tenkt som individuelle analyser, der påvirkningsfaktorene testes én og én, men alle disse analysene er også korrigert for tre viktige kilder til variasjon, nemlig sesong, feltmålt dyp og avstand til målestasjon (f.eks. RID-elv, eKlima-stasjon, etc.). Disse kovariablene er fiksert i analysene og derfor ikke en del av modellseleksjonsprosedyrene. Videre er flere av forklaringsvariablene (i.e. påvirkningsfaktorene) $\log(x+1)$ -transformert for å unngå problemer med «manglende konvergering», «høye eigenvalues» og for å hindre uforholdsmessig stor påvirkning av ekstreme punkter (outliers) i analysene. Temperaturvariable i eKlima-datasettet var opprinnelig gitt i Celsius, men ble først konvertert til Kelvin for å unngå log-transformasjon av negative verdier.

En utfordring og sterk begrensning i det innsamlede materialet er at det mangler data for mange av påvirkningsfaktorene for mange kombinasjoner av stasjon, måned og år. Dette gjelder spesielt for hydrokjemidatasettene fra KYS og KYO. En grov oversikt over stasjoner med hydrokjemidata er gitt i vedlegg 1a (AquaMonitor) og 1b (Vannmiljø). Jo flere variable som inkluderes i samme modell (noe som er nødvendig for å vurdere viktigheten av dem mot hverandre), dess færre observasjoner blir analysen utført på. Det er nemlig viktig at det ikke er noen huller i datasettet vi gjør modellseleksjon på – ellers vil vi risikere å sammenligne modeller som er basert på ulikt datamateriale og det blir ikke riktig. Dette er grunnen til at hovedanalysene er utført på et sterkt begrenset datamateriale (se kapittel 4). Derfor har vi lagt vekt på å presentere statistiske resultater og figurer også fra de innledende analysene og basert flere av konklusjonene også på disse resultatene.

Vi har undersøkt muligheten for også å koble påvirkningsfaktorene til datasettet på tetthet av sukkertare ved ulike livsstadier, for å se på mulige forklaringer til toppene vi ser i rekruttering enkelte steder i enkelte år. Imidlertid fant vi det ikke forsvarlig å gjøre disse analysene da høy tetthet av juvenile planter forekommer relativt sjeldent i datamaterialet og en kobling mot påvirkningsfaktorer vil gi resultater som i beste fall kan tolkes spekulativt.

For å undersøke hvorvidt det var forskjeller i hvilken effekt påvirkningsfaktorene hadde på sukkertaren i de ulike regionene har vi utført individuelle analyser av hver påvirkningsfaktor for hver region. Dette utgjør til sammen hele 363 (121*3) analyser (se kapittel 4.4).

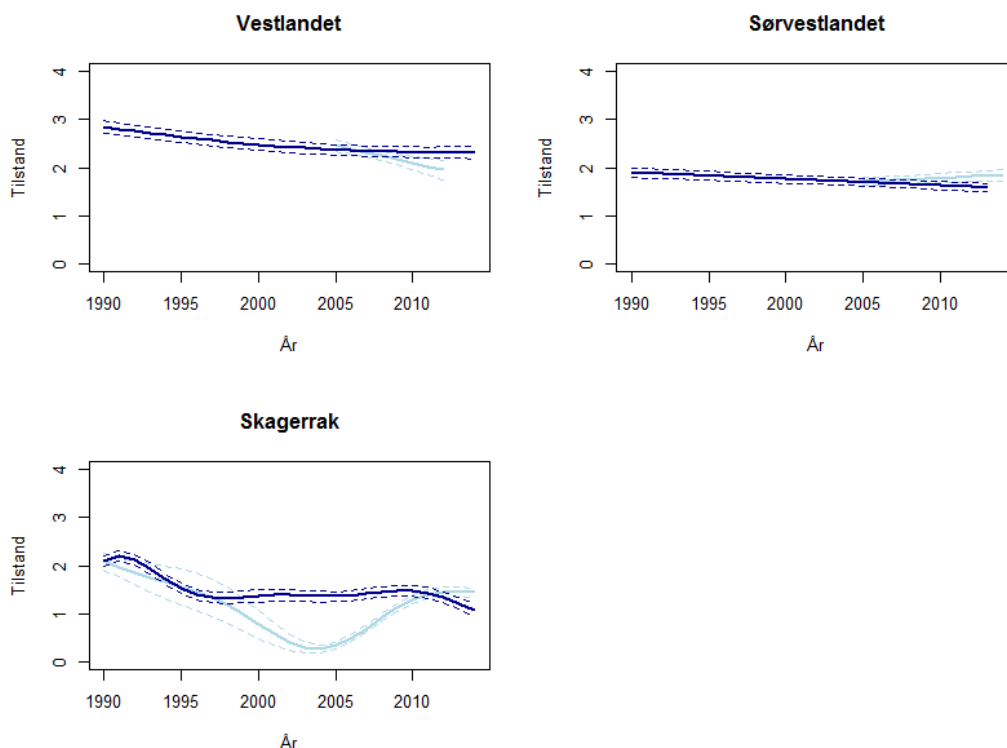
3.5 Geografiske variasjoner i påvirkningsfaktorer

Vi har laget enkle figurer (boxplot) som viser variasjonen i de store eksterne datasettene RID, eKlima, HIs hydrografidata, NVE, og fangstdatasettet på torsk i ulike regioner. Da flere av disse datasettene ikke har så god romlig oppløsning har vi delt studieområdet inn i tre regioner, Vestlandet (Hordaland, Møre- og Romsdal og Sogn- og Fjordane), Sør-Vestlandet (Rogaland og Vest-Agder) og Skagerrak (fylkene Aust-Agder til Østfold). Dette er kun ment som en grov oversikt for å vise hvordan påvirkningsfaktorene varierer i de ulike regionene, med hensyn til størrelsesorden og variasjon. Vi viser kun de fem datamaterialene som er samlet systematisk gjennom året og som derfor gir et balansert og representativt bilde på variasjon. Som representanter for de tre regionene Vestlandet, Sør-Vestlandet og Skagerrak har vi for hvert datasett valgt stasjoner som har tilnærmet fullstendig månedsvise datamateriale for hele perioden 1990 til 2013. For RID og NVE har vi videre valgt elvene med størst vannføring innen hver region, siden vi regnet med at disse ville ha størst regionsvis betydning. Disse er Vossovassdraget, Orreelva og Glomma. Som representanter for eKlima-stasjonene valgte vi Ytterøyane fyr, Utsira fyr og Færder fyr, da disse stasjonene var mest komplette. Fangstområdene var allerede mer eller mindre inndelt i disse tre sonene og heter Vikingbanken, Eigersundbanken og Skagerrak. Blant Havforskningsinstituttets hydrografiske stasjonsnettverk finnes ingen stasjoner i Skagerrak, men Sognesjøen og Indre Utsira ble valgt for henholdsvis Vestlandet og Sør-Vestlandet.

4. Resultater

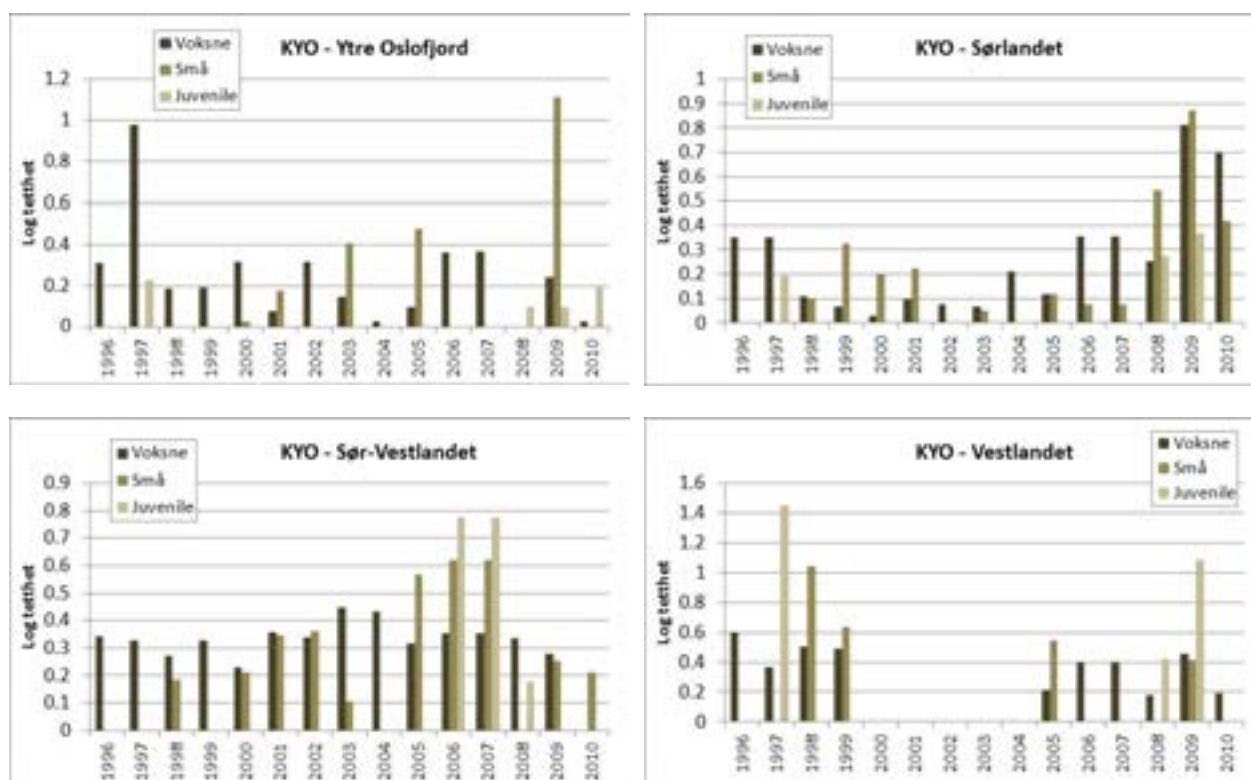
4.1 Variasjon i sukkertare over tid

I analysene der vi testet for mulige trender over tid i sukkertarens tilstand i ytre- og indre kystområder – fordelt på tre regioner fjernet vi 20 observasjoner fra diverse resipientundersøkelser innsamlet under SaccRef-prosjektet da disse målingene er gjort på tider og steder som ikke sammenfaller med de andre dataene og ville derfor fått uforholdsmessig stor innflytelse i analysene. Dette var spesielt viktig når vi ser på trender over tid, fordi ellers ville disse dataene vært alene om å representere trenden i indre områder for KYS startet i 2005. Vi testet disse først i én modell, men det viste seg at de tre fungerte best ved ulike smoothing factors, så vi endte med å kjøre dem i hver sin analyse, med smoothing factors på henholdsvis 6, 6 og 15, men viser figur med lavere k (3, 3 og 7) siden det er liten vits i å fokusere for mye på bittesmå topper og bunner i utviklingen. De tre modellene viste en svak men signifikant nedgang i ytre kystområder med $p < 0,002$ i alle regioner. For indre områder hadde vi ingen data fra før 2005 fra Vestlandet og Sør-Vestlandet, men her så vi en svak signifikant ($p = 0,0339$) negativ trend på Vestlandet og ingen trend ($p = 0,2474$) på Sør-Vestlandet. I Skagerrak, derimot, viser den modellerte utviklingen av sukkertarens tilstand over tid en markant nedgang og påfølgende oppgang i indre kystområder ($p < 0,0001$). Til tross for oppgangen ligger målingene i både indre og ytre områder på nivåer som ikke helt er på høyde med tilstanden tidlig på 90-tallet og dette gjelder generelt for indre og ytre kyst i alle områder. Husk at tilstand måles på en ikke-lineær, nærmest logaritmisk skala (intervallet mellom 3 og 4 er større enn mellom 2 og 3, osv.) slik at den negative trenden egentlig er kraftigere enn det som tilsynelatende vises i figur 2. Observerte verdier er ikke lagt inn i figuren, selv om det ofte gir et godt visuelt bilde på om modellen er godt tilpasset datapunktene, fordi sukkertaremålingene gis kun på heltallverdier og dette vil føre til at veldig mange (nesten alle) observasjoner er skjult og enkeltvis observasjoner blir representert like sterkt som klynger med 10-talls observasjoner som ligger bak hverandre i figuren.

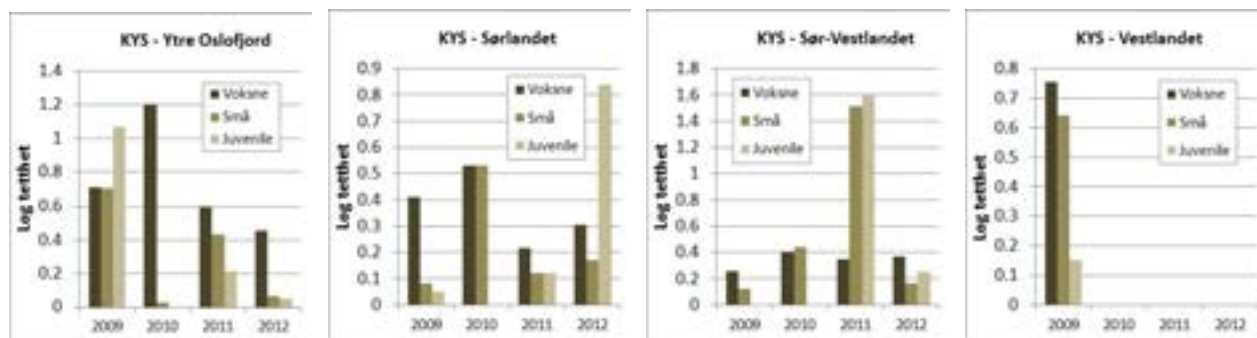


Figur 2. Modellert utvikling av sukkertarens tilstand i perioden 1990-2014. Mørkeblått viser ytre- og lyseblått viser indre kystområder.

Stolpediagrammene i figur 3 viser utviklingen i tetthet av sukkertare i perioden 1996 til 2010, fordelt på tre ulike utviklingsstadier av sukkertare, voksne, små/unge planter og kimplanter/juvenile, og fordelt på de fire KYO-regionene Ytre Oslofjord (område A), Sørlandet (område B), Sør-Vestlandet (område C) og Vestlandet (område D). Tetthet er målt som antall planter per kvadratmeter og kan variere voldsomt, derfor er y-aksen vist på en logaritmisk skala. Tilsvarende figur er også laget basert på KYS-dataene, som representerer indre kyst, for perioden 2009-2012 (Figur 4). Som nevnt i kapittel 3.4 har vi undersøkt muligheten for også å koble påvirkningsfaktorene til datasettet på tetthet av sukkertare ved ulike livsstadier, for å se på mulige forklaringer til toppene vi ser i rekruttering enkelte steder i enkelte år. Imidlertid fant vi det ikke forsvarlig å gjøre disse analysene på grunn av relativt få observasjoner av høy tetthet av juvenile og små planter. Til tross for at det ikke er gjort noen analyser på dette presenterer vi figurer som viser endringen i tettheten av de ulike aldersklassene over tid i de ulike regionene siden vi mener dette kan være nyttig bakgrunnsstoff for diskusjonen.



Figur 3. Utviklingen av tettheten (antall planter per kvadratmeter) av sukkertare i perioden 1996-2010 fordelt på tre utviklingsstadier av sukkertare og fordelt på de fire KYO-regionene Ytre Oslofjord (A), Sørlandet (B), Sør-Vestlandet (C) og Vestlandet (D). Merk log-transformert y-akse. Log-transformerte y-akser er valgt for å synliggjøre variasjonen ved lave y-verdier og således forbedre lesbarheten av figuren. I område D ble det ikke gjort målinger i perioden 2000-2004.



Figur 4. Utviklingen av tettheten (antall planter per kvadratmeter) av sukkertare i perioden 2009-2012 fordelt på tre utviklingsstadier av sukkertare og fordelt på regionene Ytre Oslofjord (A), Sørlandet (B), Sør-Vestlandet (C) og Vestlandet (D). Merk log-transformert y-akse.

4.2 Innledende analyser av påvirkningsfaktorer

Alle datasett på påvirkningsfaktorer er analysert i individuelle, innledende analyser. I alle analysene er dyp og sesong, samt avstand til målestasjon der dette er relevant, kovariable som ble fiksert i modellene og derfor ikke en del av modellseleksjonsprosedyren. Disse er heller ikke diskutert i hvert tilfelle, men generelt var dyp og distanse signifikante med $p < 0,0001$ i alle analyser. Effekten av sesong varierte noe, men stort sett var sesonger utenom sommeren dårlig representert, så denne variabelen ble vanskelig å tolke.

Der modeller sammenlignes har vi brukt $dAICc$ -verdien som et mål på forskjellen i forklaringsvevne mellom modeller. Generelt anses $dAICc$ -verdier < 2 som like gode (Burnham et al. 2011). Vi har presentert statistiske verdier for både CLM- og GAM-analyser, men verdiene fra CLM er de best egnede til å vurdere viktigheten, da kriteriene er best oppfylt for denne metoden (ordinal responsvariabel, se kapittel 3.2). GAM-analysene er ført og fremst gjort for visualisering, men siden det ikke er forsvarlig å beregne R^2 -verdier for CLM-analysene viser vi disse for GAM-analysene. Disse er altså ikke eksakte, men kan i beste fall peke på i hvilken størrelsesorden modellen ligger, når det gjelder forklart variasjon.

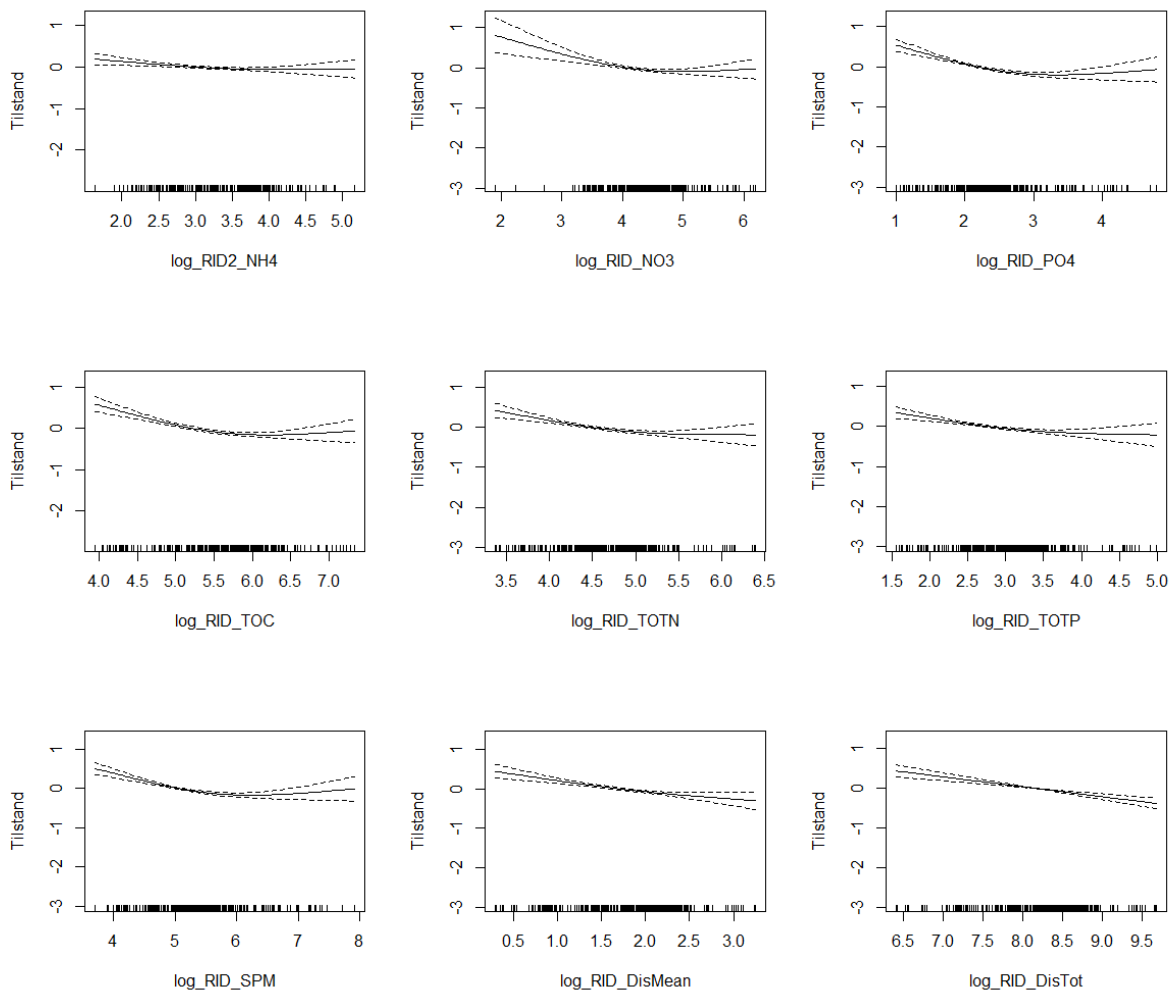
4.2.1 Effekter av RID-variable på sukkertare

I de fleste tilfeller, med unntak av NH_4 og $DisTot$, var målinger med ingen forsinkelse (se kapittel 2.2.4) den som best forklarte tilstanden (p for alle 7 variable $< 0,0001$, Tabell 4). Dette var overbevisende resultater med $AICc$ -differanser på over 11 i forhold til «nest beste» variabel i alle tilfeller. For NH_4 derimot, var to måneders forsinkelse den beste, men denne effekten var ikke signifikant ($p = 0,0978$) og alle de fem modellene som representerer de 5 forsinkelsene kan egentlig ikke sies å være omtrent like gode, siden $AICc$ -differansene var små ($dAICc < 2,6$). For $DisTot$ var modellen med 1 måneds forsinkelse den beste (tabell 4). Figur 5 viser sammenhengen mellom hver variabel og sukkertaretilstand basert på GAM-analyser. Tilhørende p -verdier er vist i tabell 4. Forklaringsgraden (R^2) er lav og ligger på mellom 6 og 9 % (Tabell 4).

Tabell 4. Statistiske resultater fra individuelle RID-analyser der hver variabel er testet for hvilken forsinkelse som best forklarte variasjonen i sukkertarens tilstand. Kun de beste fra hver variabel er vist. dAICc-verdier viser forskjellen til nest beste forsinkelse (hvilken dette var er ikke vist). Avstand til RID-elv, dyp og sesong er inkludert i alle testene, samt fylke som random faktor.

* alle modeller for NH4 var tilnærmet like gode med dAICc-verdier fra 0,72 til 2,6.

Variabel	n	Forsinkelse	dAICc (CLM)	Z (CLM)	P (CLM)	F (GAM)	P (GAM)	R2 (GAM)
log_NH4	4306	alle*	<2,6	1,66	0,0978	3,102	0,0545	0,09
log_NO3	4833	0 mnd	43,4	-7,53	<0,0001	10,05	<0,0001	0,08
log_PO4	4833	0 mnd	50,5	-10,61	0,0001	24,94	<0,0001	0,07
log_TOC	4345	0 mnd	10,5	-9,42	<0,0001	26,75	<0,0001	0,08
log_TOTN	4833	0 mnd	50,2	-9,09	<0,0001	10,86	<0,0001	0,07
log_TOTP	4833	0 mnd	46,7	-9,36	<0,0001	12,04	<0,0001	0,07
log_SPM	4833	0 mnd	50,5	-10,81	<0,0001	19,47	<0,0001	0,07
log_DisMean	4833	0 mnd	42,2	-9,79	<0,0001	18,94	<0,0001	0,06
log_DisTot	4833	1 mnd	53,7	-10,38	<0,0001	32,83	<0,0001	0,06



Figur 5. Sammenhengen mellom RID-variable og modellert tilstand basert på målte verdier for sukkertaren. I modellene er også avstand til RID-elv, dyp og sesong inkludert som kovariable, samt sukkertarestasjon som random faktor.

I analysetrinn to av RID-dataene sjekket vi først hvorvidt variablene valgt i runde én (altså den viktigste forsinkelsen for hver variabel) var korrelerte. Alle de ni variablene var korrelerte ($r > 0,73$) og kunne derfor ikke inkluderes i samme modell i hovedanalysen. Modellsleksjonen viste at modellen som inneholdt SPM var best etterfulgt av følgende variable i synkende rekkefølge TOC, TOTP, PO4, DisTot, DisMean, TOTN, NO3 og NH4 (Tabell 5). SPM er derfor valgt til å representere alle RID-dataene i hovedanalysen.

Tabell 5. Alle variablene fra andre runde med modellsleksjon av RID-variablene. Variablene er sortert etter dAICc-verdi, altså de beste modellene øverst.

Variabel	dAICc
log_SPM	0
log_TOC	8,8
log_TOTP	20,9
log_PO4	31,8
log_DisTot	34,0
log_DisMean	40,9
log_TOTN	52,4
log_NO3	81,2
log_NH4	91,2
Kun kovariable	91,6

4.2.2 Effekter av eKlima-variable på sukkertare

På samme måte som for RID, fulgte vi en to-trinnsprosedyre for eKlima-variablene ved at det først ble undersøkt hvilken forsinkelse som var best egnet for hver variabel, deretter ble variabelen med den beste forsinkelsen for hver parameter testet i trinn to for å finne én eller noen få variable som best forklarte variasjonen i sukkertaretilstand og som kunne representative eKlima-variablene i hovedanalysene. Som nevnt (kapittel 3.4) er dette gjort for at ikke alle påvirkningsfaktorer kan testes mot hverandre i en og samme analyse – til det har vi alt for mange forklaringsvariable. Uansett, taler resultatene i disse innledende rundene for seg selv og er tolket og kommentert i diskusjonskapitlet (kapittel 5).

For eKlima-variablene var det ikke noe konsistent mønster i hvilken forsinkelse som best forklarte sukkertaretilstanden (tabell 6). Den eneste variabelen som ser ut til å gi effekter umiddelbart er nedbør (RR). Én måneds forsinkelse var viktigst for kraftig vindkast (FGX) og kraftig middelvind (FXX), to måneders forsinkelse var viktigst for minimumstemperatur (TAN) og maksimumstemperatur (TAX), mens summen av de tre siste månedene var viktigst for middel vindhastighet (FFM), høyeste vindhastighet (FFX), middeltemperatur (TAM) og varmesum (VSUM, gitt i daggrader). For de midlere- (TWM), laveste- (TWN) og høyeste sjøtemperatur (TWX) var utvalgsstørrelsen spesielt lavt ($n=591$) og konvergente ikke analysene.

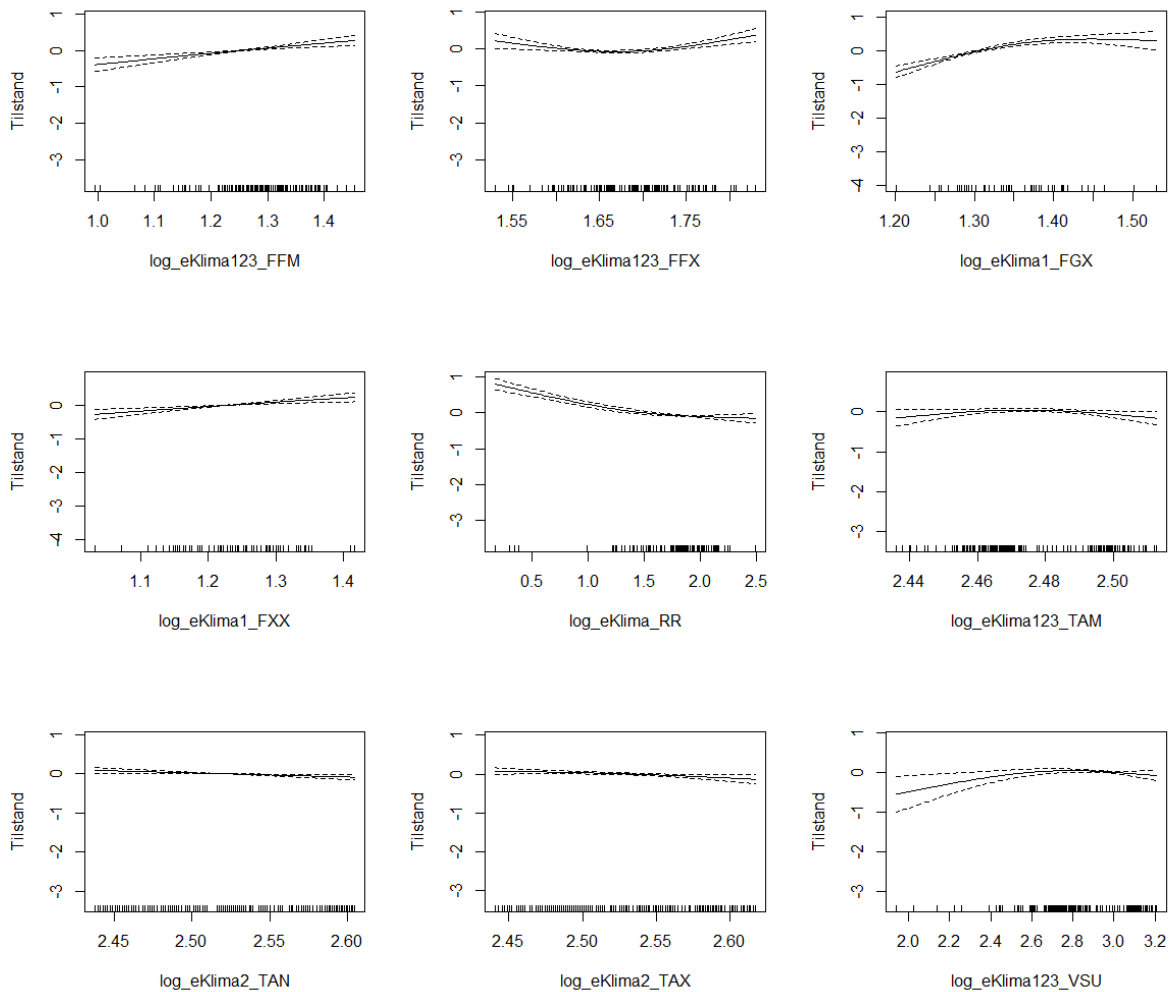
Forklaringsgraden fra eKlima-variablene, gitt ved R^2 -verdiene, varierte mellom 0 % (FXX) og 29 % (RR) (tabell 6). Imidlertid, siden flere av eKlima-variablene er korrelerte bør hver variabel tolkes i sammenheng med variable de korrelerer med (Tabell 7). Som for RID, har vi for eKlima i tillegg til CLM modellert ved bruk av GAM for å visualisere effekten av de ulike variablene (Figur 6).

Tabell 6. Resultater fra første trinns eKlima-analyser der det testes for hvilken forsinkelse som er viktigst for de ulike eKlima-variablene. dAICc-verdier viser forskjellen til nest beste forsinkelse (hvilken dette var er ikke vist). Se tabell 3 for en forklaring av variablene.

Variabel	Forsinkelse	dAICc (CLM)	N	Z (CLM)	P (CLM)	F (GAM)	P (GAM)	R2 (GAM)
FFM	sum 3 siste mnd	23,2	2824	7,32	<0,0001	16,97	<0,0001	0,08
FFX	sum 3 siste mnd og 2 mnd	<6,5	2807	3,71	0,0002	10,10	<0,0001	0,04
FGX	1 mnd	57,0	1332	10,09	<0,0001	29,09	<0,0001	0,13
FXX	1 mnd	19,2	2266	8,24	<0,0001	13,19	0,0002	0,004
RR	0 mnd	78,8	1878	9,24	<0,0001	61,48	<0,0001	0,29
TAM	sum 3 siste mnd	34,0	3525	13,12	<0,0001	2,87	0,0611	0,06
TAN	2 mnd	6,3	3248	13,25	<0,0001	6,19	0,0129	0,04
TAX	2 mnd	35,8	3274	12,40	<0,0001	4,23	0,0196	0,04
TWM	(konvergente ikke)		591					
TWN	(konvergente ikke)		591					
TWX	(konvergente ikke)		591					
VSUM	sum 3 siste mnd	54,4	3499	10,88	<0,0001	3,53	0,0328	0,06

Tabell 7. Korrelasjonsmatrise for eKlima-variablene. Alle variablene er $\log(x+1)$ -transformert.

	FFM 123 mnd	FFX 123 mnd	FGX 1 mnd	FXX 1 mnd	RR 0 mnd	TAM 123 mnd	TAN 2 mnd	TAX 2 mnd	VSU 123 mnd
FFM		0,84	0,74	0,82	-0,68	-0,65	-0,69	-0,64	-0,61
FFX	0,84		0,77	0,78	-0,46	-0,50	-0,55	-0,39	-0,49
FGX	0,74	0,77		0,96	-0,48	-0,37	-0,48	-0,35	-0,37
FXX	0,82	0,78	0,96		-0,55	-0,39	-0,52	-0,45	-0,37
RR	-0,68	-0,46	-0,48	-0,55		0,64	0,65	0,52	0,62
TAM	-0,65	-0,50	-0,37	-0,39	0,64		0,77	0,64	0,98
TAN	-0,69	-0,55	-0,48	-0,52	0,65	0,77		0,72	0,72
TAX	-0,64	-0,39	-0,35	-0,45	0,52	0,64	0,72		0,52
VSU	-0,61	-0,49	-0,37	-0,37	0,62	0,98	0,72	0,52	



Figur 6. Sammenhengen mellom eKlima-variable og modellert tilstand basert på målte verdier for sukkertaren. I modellene er også avstand til eKlima målestasjon, dyp og sesong inkludert som kovariabel, samt sukkertarestasjon som random faktor.

I andre runde av analyseprosessen ble kandidatmodeller med hver av de ni variablene fra runde én gjenstand for modellseleksjon. De to variablene som hadde best forklaringsgrad i runde én, kraftig vindkast (FGX) og nedbør (RR), var også de som nå slo best ut (Tabell 8), men til tross for dette valgte vi å droppe disse to variablene i hovedanalysene, for ikke å måtte redusere datasettet for mye, siden RR og FGX kun har henholdsvis 1878 og 1332 observasjoner. Resultatene av de prelimære analysene står uansett for seg selv, og viste blant annet en viktig og umiddelbar (i.e. uten forsinkelse) effekt av nedbør. Variable som går videre til hovedanalysene er da middeltemperatur (TAM) (tabell 8), men må også ses i sammenheng med de andre temperaturvariablene minimums- (TAN) og maksimumstemperatur (TAX) da disse er noe korrelerte (Tabell 7).

Tabell 8. Alle variablene fra andre runde med modellseleksjon av eKlima-variablene. Variablene er sortert etter dAICc-verdi, altså de beste modellene øverst.

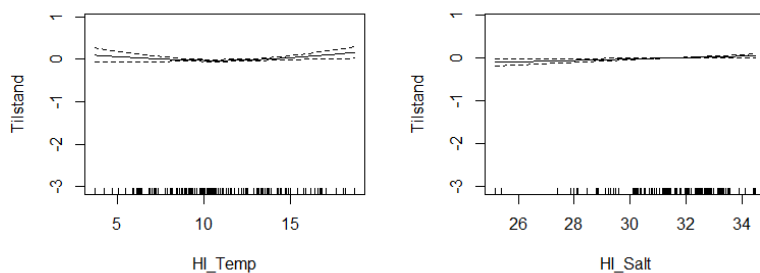
Modell	dAICc
FGX	0
RR	2.91
TAM	3.86
FXX	7.93
TAN	8.74
VSU	10.15
FFX	10.78
FFM	12.41
Kun kovariable	16.53
TAX	17.05

4.2.3 Effekter av HIs hydrografimålinger på sukkertare

HIs data inneholdt to variable: temperatur og salinitet. Når de to kandidatmodellene med hver av de to variablene ble testet mot hverandre i en CLM så vi at temperatur var langt viktigere enn salinitet (dAICc=166). Figurer basert på tilsvarende GAM-analyser vises i figur 7. Temperatur og salinitet forklarer henholdsvis 3,3 % og 0,15 % av den totale variasjonen (tabell 9).

Tabell 9. Resultatene fra modellseleksjon av HIs hydrografidata (temperatur og salinitet) etter individuelle CLM og GAM-analyser. Variablene er sortert etter dAICc-verdi, altså den beste modellen øverst.

Variabel	n	dAICc (CLM)	Z (CLM)	P (CLM)	F (GAM)	P (GAM)	R2 (GAM)
HI_Temp	4828	0	13,57	<0,0001	2,68	0,0733	0,0334
HI_Salt	4828	165,8	4,24	<0,0001	6,05	0,0139	0,0015



Figur 7. Sammenhengen mellom HI-variablene og modellert tilstand basert på målte verdier for sukkertaren. I modellene er også avstand til HI målestasjon, dyp og sesong inkludert som kovariable, samt sukkertarestasjon som random faktor.

4.2.4 Effekter av NVEs vannføringsparametere på sukkertare

Alle sukkertarestasjoner er testet mot vannføringen i den nærmeste av hovedelvene fra NVE-datasettet. Dataene bestod av månedlige målinger på vannføring, og fire andre variable som beskriver de ulike forsinkelsene. Summen av de tre siste månedene var korrelert med dens tre komponentvariable (1, 2 og 3 mnd) og «1 mnd» og «3 mnd» var korrelert med sine respektive foregående måneder (tabell 10).

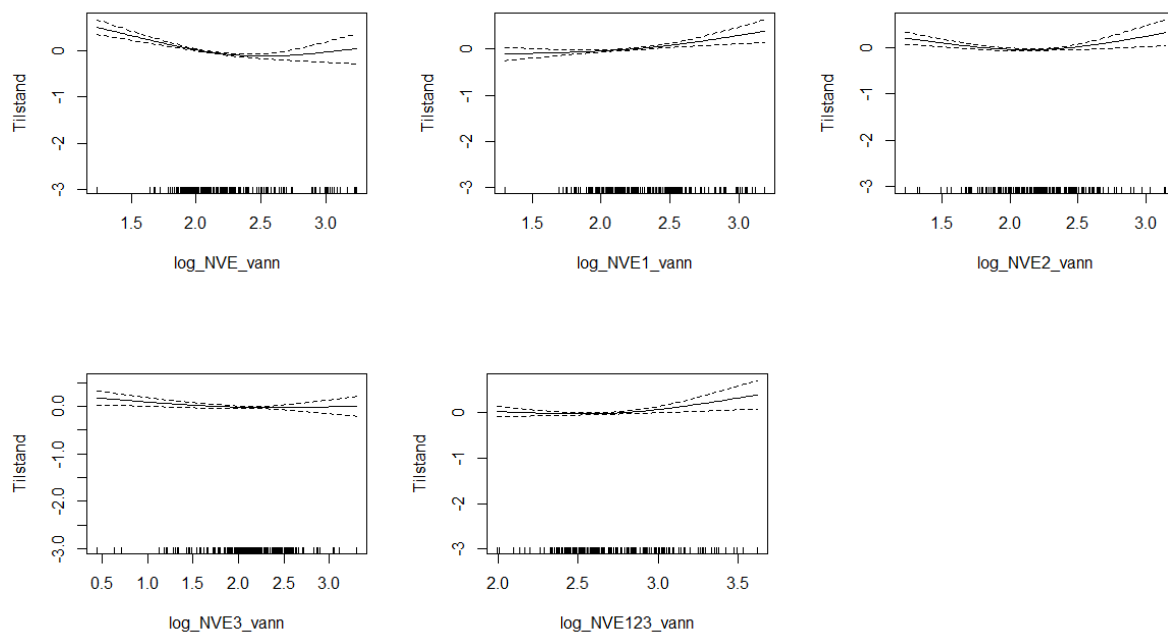
Tabell 10. Korrelasjonsmatrise for NVE-variablene. Alle variablene er $\log(x+1)$ -transformert.

Forsinkelse	0 mnd	1 mnd	2 mnd	3 mnd	sum 3 siste mnd
0 mnd		0,75	0,40	0,32	0,61
1 mnd	0,75		0,56	0,45	0,80
2 mnd	0,40	0,56		0,83	0,91
3 mnd	0,32	0,45	0,83		0,86
sum 3 siste mnd	0,61	0,80	0,91	0,86	

CLM modellseleksjonen viste at tre måneds forsinkelse var den av NVE-variablene som best forklarte variasjonen i sukkertarens tilstand (Tabell 11), altså tas vannføring med tre måneders forsinkelse videre til hovedanalysene. Variable med 1, 2 og 3 måneders forsinkelse var signifikante, med forklaringsgrader på 6 %. Sammenhengen mellom de 5 vannføringsvariablene og sukkertaretilstand er visualisert i figur 8, basert på tilsvarende GAM-analyser.

Tabell 11. Resultatene fra analyser av vannføringsdata fra NVE med henholdsvis ingen, 1, 2, 3 og summen av de tre siste måneders forsinkelser etter individuelle CLM og GAM-analyser. Variablene er sortert etter dAICc-verdier, med de beste modellene øverst.

Variabel	N	dAICc (CLM)	Z (CLM)	P (CLM)	F (GAM)	P (GAM)	R2 (GAM)
3 mnd	4998	0	5,90	<0,0001	2,11	0,1260	0,06
1 mnd	4998	9,8	5,00	<0,0001	5,45	0,0074	0,06
2 mnd	4998	18,5	4,05	<0,0001	6,73	0,0015	0,06
sum 3 siste mnd	4998	31,4	1,86	0,0634	2,27	0,1070	0,05
Kun kovariable	4998	32,9					
0 mnd	4998	33,1	1,32	0,1886	25,52	<0,0001	0,03



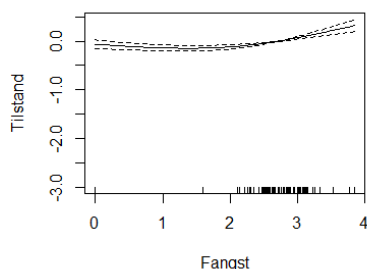
Figur 8. Sammenhengen mellom vannføring (NVE) og modellert tilstand basert på målte verdier for sukkertaren. I modellene er også avstand til NVE målestasjon, dyp og sesong inkludert som kovariable, samt sukkertarestasjon som random faktor.

4.2.5 Effekter av Fiskeridirektoratets fangstdata på sukkertare

Siden fangstvariable med ulike tidsforsinkelser var høyt korrelerte ($r > 0,95$) testet vi kun variabelen som summerte fangst gjort i det foregående året før sukkertaremålingene ble gjort. De to kandidatmodellene som da ble testet var modellen med og modellen uten denne forklaringsvariabelen. Begge modeller forklarte 6 % av variasjonen og dette skyldes nok først og fremst kovariablene, siden modellen med kun kovariable var like god (og faktisk rangert best - Tabell 12) som de andre to. Vi inkluderer denne som en representant for et høyere trofisk nivå. Figurer fra GAM-analysene er vist i figur 9.

Tabell 12. Resultatene fra analyser av fangstdata fra Fiskeridirektoratet (summen av torsk fisket i det året sukkertaremålingene ble gjort). Verdiene er basert på individuelle CLM og GAM-analyser.

Variabel	N	dAICc (CLM)	Z (CLM)	P (CLM)	F (GAM)	P (GAM)	R2 (GAM)
Kun kovariable	5129	0					0,06
Fangst	5129	0,76	1,12	0,2649	14,70	<0,0001	0,06



Figur 9. Sammenhengen mellom Fiskeridirektoratets fangstdata (summen av torsk fisket det foregående året før måling på sukkertaren ble gjort) og modellert tilstand basert på målte verdier for sukkertaren. I modellene er også dyp og sesong inkludert som kovariable, samt sukkertarestasjon som random faktor.

4.2.6 Effekter av overvåkingsprogrammernes hydrokjemiparametere på sukkertare

Alle hydrokjemivariablene ble kjørt i to gruppevise modellsleksjonsrunder, én for klima- og partikkelvariablene ($n=1772$) og én for næringssaltvariablene ($n=1097$). Dette gjorde vi for at ikke det lave antallet observasjoner for næringssaltvariable ($n=1097$) skulle sette begrensninger også for klima- og partikkelvariablene ($n=1772$), som hadde noe høyere antall observasjoner. Blant næringssaltvariablene var NH_4 og TOTP de to beste og kan anses som like gode siden $d\text{AICc}$ er mindre enn 2 (Tabell 13). Blant Klima- og partikkelvariablene var Secchi og Temp de to beste og kan også anses som like gode ($d\text{AICc}=1,75$, Tabell 14). Ut fra R^2 -verdiene i tabell 13 og 154 ser det ut som forklaringsgraden var høy hydrokjemivariablene, men her skal vi være klar over at kovariablene dyp og sesong også er med i modellen og er med på å forklare det meste av variasjonen. Individuell effekt av hver av hydrokjemivariablene kan imidlertid til en viss grad ses av p -verdiene til CLM-analysene (tabell 13 og 14). Variablene NH_4 , TOTP, Secchi og Temp går videre til hovedanalysene. GAM-figurer fra analysene er vist i figur 10.

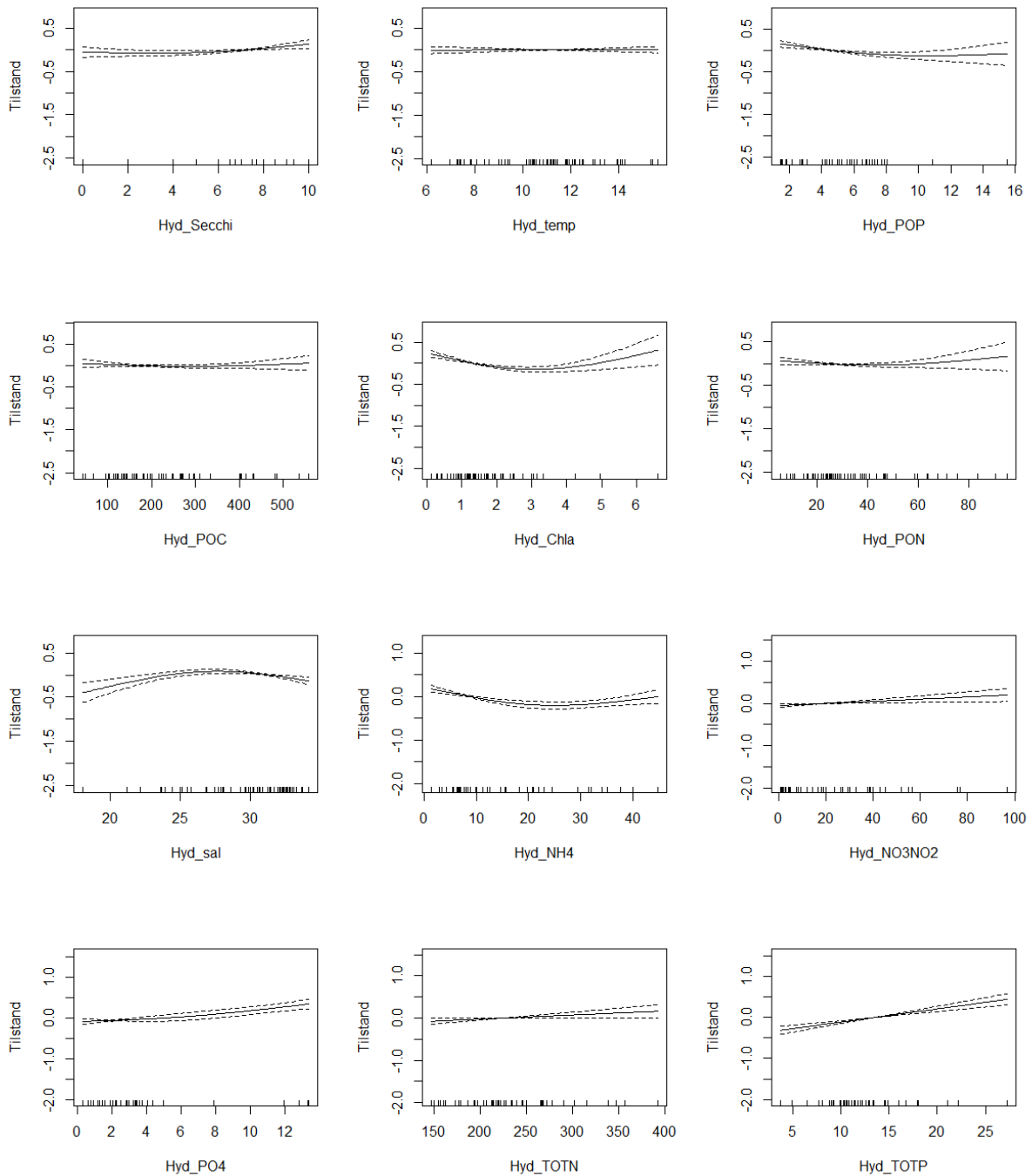
Tabell 13. Resultatene fra analyser av hydrokjemivariable (kun variable knyttet til næringssalt). Variablene er sortert etter $d\text{AICc}$ -verdi, altså de beste modellene øverst.

Variabel	N	$d\text{AICc}$ (CLM)	Z (CLM)	P (CLM)	F (GAM)	P (GAM)	R^2 (GAM)
NH_4	1097	0	4,09	<0,0001	9,75	<0,0001	0,17
TOTP	1097	1,5	4,15	<0,0001	41,84	<0,0001	0,16
PO_4	1097	5,9	3,39	0,0007	22,77	<0,0001	0,15
NO_3NO_2	1097	10,6	2,58	0,0098	6,62	0,0098	0,15
Kun kovariable	1097	15,2			56,39	<0,0001	0,14
TOTN	1097	16,2	1,02	0,3080	4,44	0,0353	0,14

Tabell 14. Resultatene fra analyser av hydrokjemivariable (kun variable knyttet til klima og partikler). Variablene er sortert etter $d\text{AICc}$ -verdi, altså de beste modellene øverst.

Variabel	N	$d\text{AICc}$ (CLM)	Z (CLM)	P (CLM)	F (GAM)	P (GAM)	R^2 (GAM)
Secchi	1772	0	2,42	0,0153	3,82	0,0275	0,41
Temp	1772	1,8	2,03	0,0419	0,01	0,9090	0,41
POP	1772	2,5	1,83	0,0668	5,01	0,0094	0,41
POC	1772	3,1	1,68	0,0934	0,713	0,4410	0,41
Kun kovariable	1772	3,9					
Chla	1772	4,9	0,99	0,3230	16,82	<0,0001	0,41
PON	1772	5,0	0,93	0,3530	1,74	0,1730	0,41
Sal	1772	5,2	0,84	0,4020	9,35	0,0001	0,41

I en sjekk om hvilke variable som potensielt ikke kan inkluderes samtidig i hovedanalysen testet vi alle parvise korrelasjoner. Variablene var stort sett lite korrelerte (tabell 15), med unntak av noen få kombinasjoner. De fire variablene valgt til hovedanalysene er tilstrekkelig lite korrelerte ($R < 0,54$) og kan derfor inkluderes i samme analyse (Tabell 15).



Figur 10. Sammenhengen mellom overvåkingsprogrammernes hydrokjemivariablene og modellert tilstand basert på målte verdier for sukkertaren. I modellene er også avstand til hydrokjemis målestasjon dyp og sesong inkludert som kovariablene, samt sukkertarestasjon som random faktor.

Tabell 15. Korrelasjonsmatrise basert på alle hydrokjemivariabler fra de store overvåkingsprogrammene KYO, KYS og YO.

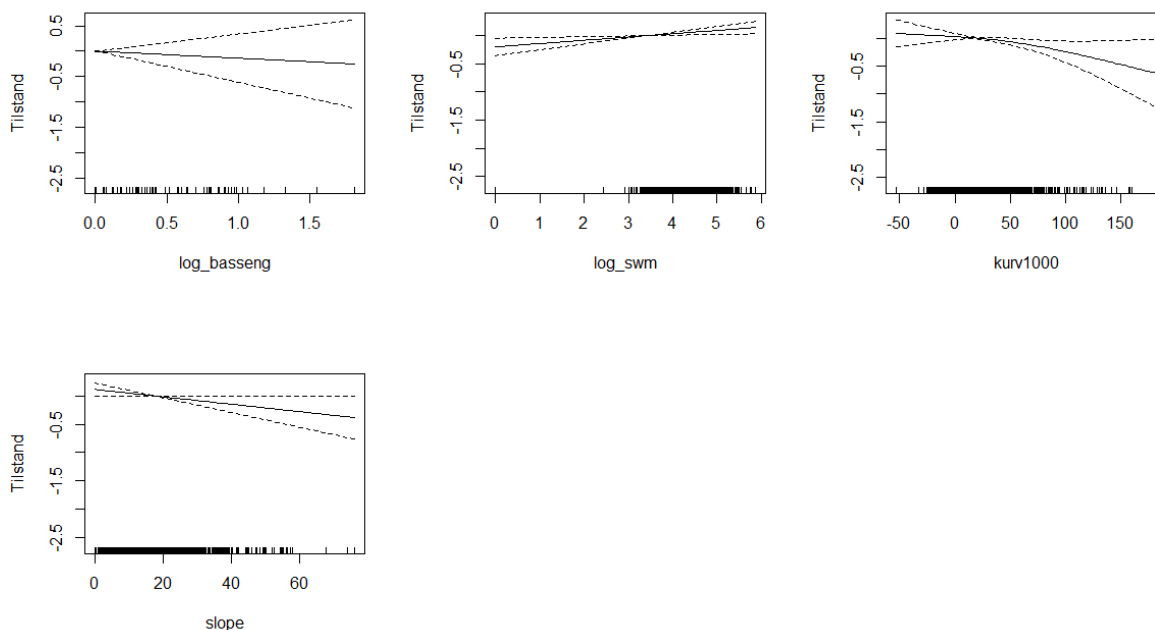
	Temp	Sal	Secchi	Chla	NH4	NO3NO2	PO4	POC	PON	POP	TOTN	TOTP
Temp		-0.49	0.01	0.01	-0.20	-0.51	-0.49	0.10	0.14	0.25	-0.02	-0.52
Sal	-0.49		-0.16	0.04	0.20	0.20	0.24	-0.19	-0.26	-0.05	-0.19	0.35
Secchi	0.01	-0.16		0.09	-0.54	-0.08	-0.07	0.17	0.07	0.32	-0.30	0.23
Chla	0.01	0.04	0.09		-0.42	-0.10	-0.39	0.08	0.51	0.37	-0.27	-0.19
NH4	-0.20	0.20	-0.54	-0.42		0.47	0.52	-0.52	-0.45	-0.48	0.64	-0.05
NO3NO2	-0.51	0.20	-0.08	-0.10	0.47		0.70	-0.46	-0.29	-0.31	0.36	0.50
PO4	-0.49	0.24	-0.07	-0.39	0.52	0.70		-0.49	-0.50	-0.54	0.45	0.65
POC	0.10	-0.19	0.17	0.08	-0.52	-0.46	-0.49		0.73	0.34	-0.10	-0.01
PON	0.14	-0.26	0.07	0.51	-0.45	-0.29	-0.50	0.73		0.40	0.01	-0.24
POP	0.25	-0.05	0.32	0.37	-0.48	-0.31	-0.54	0.34	0.40		-0.39	-0.17
TOTN	-0.02	-0.19	-0.30	-0.27	0.64	0.36	0.45	-0.10	0.01	-0.39		0.09
TOTP	-0.52	0.35	0.23	-0.19	-0.05	0.50	0.65	-0.01	-0.24	-0.17	0.09	

4.2.7 Effekter av geofysiske variable på sukkertare

Ingen av de geofysiske variablene var særlig korrelerte (alle $r < 0.41$). Blant kandidatmodeller testet for de geofysiske variablene var «basseng» den som best forklarte variasjonen i sukkertarens tilstand og blir tatt videre til hovedanalysene (Tabell 16). Basseng er en variabel som beskriver terrenget i området der målingene ble tatt og som har en høyere verdi jo dypere grop stasjonen ligger i. Området med terskler vil for eksempel ofte få en høy bassengverdi. Figur 11 viser sammenhengen mellom de geofysiske variablene og sukkertare.

Tabell 16. Resultatene fra analyser av geofysiske variable. Variablene er sortert etter dAICc-verdi, altså de beste modellene øverst.

Variabel	N	dAICc (CLM)	Z (CLM)	P (CLM)	F (GAM)	P (GAM)	R2 (GAM)
Basseng	5085	0	5,86	<0,0001	0,34	0,5620	0,05
Swm	5085	5,4	5,37	<0,0001	6,67	0,0098	0,01
Kurvatur	5085	15,7	4,29	<0,0001	4,77	0,0177	0,04
Kun kovariable	5085	32,2					0,05
Skråning	5085	34,2	0,0005	0,9962	4,06	0,0441	0,04



Figur 11. Sammenhengen mellom de geofysiske variablene fra romlige GIS-modeller og modellert tilstand basert på målte verdier for sukkertaren. I modellene er også dyp og sesong inkludert som kovariable, samt sukkertarestasjon som random faktor.

4.3 Hovedanalyser av påvirkningsfaktorer

I denne delen av analyseprosessen, kalt «hovedanalysene», har de ulike påvirkningsfaktorene blitt analysert i en felles analyse for å kunne bli vurdert mot hverandre. De foregående innledende analysene (kapittel 4.2) av hvert individuelt datasett har lagt grunnlaget for hvilke variable som skal inngå her. Som nevnt i kapittel 3.4 er det begrenset hvor mange variable som kan testes mot hverandre i en og samme modellseleksjon, og det er da vanlig å gjøre en seleksjon av variable i forkant av modellseleksjonen basert på ulike kriterier. Disse kriteriene kan variere og det er ingen fasit for hvordan dette gjøres, men som regel handler det om å redusere vekk de variablene som kan representeres av andre variable, for eksempel ved at de er korrelerte. Et annet kriterium kan være å prøve å unngå å inkludere variable med få observasjoner, slik at det totale datamaterialet blir kraftig redusert. For eKlimadatasettet valgte vi å gjøre nettopp dette ved å holde variablene kraftig vindkast (FGX) og nedbør (RR) utenfor hovedanalysene da dette ville innebære en sterk reduksjon i datamaterialet. Ulempen er da selvfølgelig at man ikke får testet viktigheten (importance) av disse faktorene mot de andre i hovedanalysene. En viss vurdering er uansett mulig ut fra de individuelle analysene – noe vi også har gjort i diskusjonen.

Tabell 17 viser alle variablene som inngår i hovedanalysen. NAO er også lagt til her som en variabel som ikke har gått gjennom noen innledende analyser, da dette datasettet kun består av den ene variabelen. Totalt har vi et datasett på 13 variable. Også i hovedanalysen har vi brukt CLM for modellseleksjon og GAM for visualisering, siden CLM ikke har godt nok utviklet figurverktøy. Seleksjonsprosessen går ut på å sette sammen alle mulige kombinasjoner av disse 13 variablene og se hvilken kombinasjon som best forklarer variasjonen i sukkertaretilstand. Totalt ble 2048 ulike kandidatmodeller testet.

Det er stor variasjon i hvor fullstendige de ulike variablene er (Tabell 17) og siden hullene er fordelt på ulike observasjoner i de ulike datasettene sitter vi igjen med kun 1154 observasjoner, altså kun 22 % av det totale sukkertaredatamaterialet på 5129, dersom vi skal inkludere alle de 13 variablene. Vi ser at hydrokjemidatasettet har spesielt få observasjoner og begrenser datasettet kraftig – derfor har vi valgt å gjøre en ekstra runde med modellseleksjon der vi utelukker de fire hydrokjemivariablene. Vi er da oppe i

et datasett på 4129 observasjoner og 78 % av det totale materialet. På denne måten får vi først gjort en innbyrdes vurdering av den relative viktigheten av alle variablene, og etterpå får vi rangert alle variable utenom hydrokjemivariablene basert på et større materiale.

Tabell 17. Samtlige variable som er valgt ut til å bli inkludert i hovedanalysene og deres utvalgsstørrelse. Utvalget er basert på innledende individuelle eller gruppevisse analyser av variable som stammer fra samme datasett.

Datasett	Variabel	Forklaring	N
Div. sukkertare	Depth	Feltmålt dyp (m)	5129
	Season	Vår (mar.-mai), sommer (jun.-aug.), høst (sep.-nov.), vinter (des.-feb.)	5129
RID	SPM	Suspendert tørrstoff	4340
eKlima	TAM (sum 3 siste mnd)	Maksimum-temperatur	4736
HI-klimadata	Temp	Temperatur	4828
NVE	Vannføring (3 mnd)	Total vannføring (m3)	4999
Fiskeridata	Fangst	Summen av torsk fisket i foregående år	5129
Hydrokjem	Temp	Temperatur	2524
	Secchi	Secchidyp	2296
	NH4	Ammonium	1316
	TOTP	Totalt fosfor	2426
Geofysiske GIS-lag	Basseng	Forskjellen mellom dypet i ett punkt og det omkringliggende dypet	5085
NOAA	NAO	NAO klimaindeks	4966

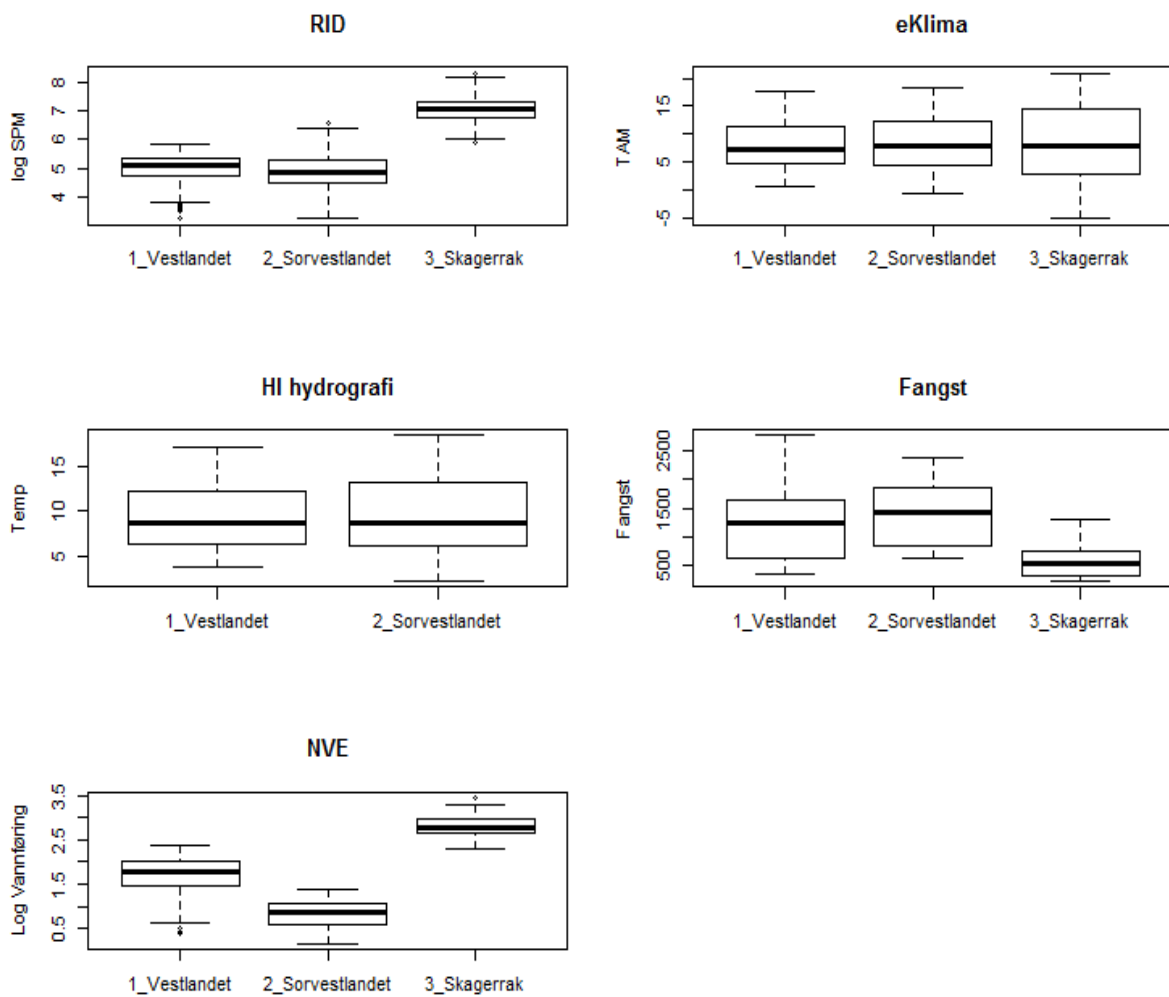
I motsetning til modellseleksjonen gjort i de innledende rundene, ville vi nå selektere en modell sammensatt av alle de viktigste variablene for sukkertare og produsere en tabell som rangerer disse mot hverandre. Den modellen som utpekte seg som den beste fra første runde med modellseleksjonen basert på alle kombinasjoner av alle 13 variable, er vist i Tabell 18. Imidlertid var det hele 10 modeller som ble vurdert til å være like gode, altså med $dAICc$ -verdier < 2 . Hvor hyppig de ulike variablene er inkludert i disse 10 modellene gjenspeiles i den såkalte «importance-tabellen» (i.e. viktighet), der variablene har blitt beregnet utfra modellenes rangering (AICc) og hvor hyppig de ulike variablene inngår i de øverste (i.e. beste) modellene. Kun modeller høyt opp på listen (i.e. «de beste») av de 2048 ulike modellene testet bidrar til å beregne importance-verdiene. Dyp og sesong har importance-verdi lik 1, det vil si at de er inkludert i alle modellene som rangerer høyest på listen, noe som er naturlig siden dyp og sesong er fiksert i modellene. Imidlertid viser også NAO verdien 1 og er den variabelen som rangerer høyest av de 11 testede variablene. Deretter kommer alle de 4 hydrokjemivariablene med importanceverdier på mellom 0,86 og 0,92. Videre rangerer TAM (eKlima), basseng, SPM (RID), Temp (HI), År (Fangst) og til slutt vannføring (NVE) (Tabell 18). Modellseleksjonen som ekskluderte hydrokjemidataene er også vist i tabell 18.

Tabell 18. Resultatene fra modellseleksjon basert på en samlet modell (den beste) som ble valgt ved modellseleksjon av 2048 ulike kandidatmodeller sammensatt av forskjellige kombinasjoner av a) de 13 variablene valgt i innledende analyserunder, og b) de samme variablene unntatt hydrokjemivariablene.

	Alle 13 variable		Uten hydrokjem	
	Beste modell	Importance	Beste modell	Importance
Depth	Ja	1,00 (fixed)	Ja	1,00 (fixed)
Season	Ja	1,00 (fixed)	Ja	1,00 (fixed)
NAO	Ja	1,00	Ja	0,90
NH4 (hydrokjem)	Ja	0,92	-	-
Temp (hydrokjem)	Ja	0,92	-	-
TOTP (hydrokjem)	Ja	0,90	-	-
Secchi (hydrokjem)	Ja	0,86	-	-
TAM (eKlima, sum 123 mnd)	Ja	0,84	Ja	1,00
Basseng	Ja	0,49	Ja	1,00
SPM (RID)	Nei	0,46	Ja	1,00
Temp (HI)	Nei	0,42	Ja	0,92
År (Fangst)	Nei	0,31	Ja	0,92
Vannføring (NVE, 3 mnd)	Nei	0,30	Ja	0,99

4.4 Geografiske forskjeller i påvirkningsfaktorer

For å vise hvordan påvirkningsfaktorene varierer geografisk presenterer vi de store eksterne datasettene RID, eKlima, HIs hydrografidata, NVE, og fangstdatasettet på torsk, i form av boxplot for hver region (figur 12). Vi viser kun de fem datamaterialene som er samlet systematisk gjennom året og som derfor gir et balansert og representativt bilde på variasjon. Se kapittel 3.5 for begrunnelse for utvalget av målingsstasjoner. Figuren viser at det er regionale forskjeller i målte verdier (vist ved median) og variasjon (vist ved standardavvik) for flere av variablene, både når det gjelder gjennomsnittlige målinger, men også når det gjelder variasjon. Spesielt for RID-dataene (representert ved SPM), NVE-dataene og fangstdataene (representert ved årlig fangst) er forskjellen stor. Generelt kan vi si at den totale variasjonen i elvetilført materiale gjennom året er større og mer varierende i Skagerrak enn på Sør-Vest- og Vestlandet. Også vannføringen (NVE) varierer tilsvarende mer i Skagerrak (Glomma), enn de andre to regionene, men også betraktelig mer på Vestlandet enn Sør-Vestlandet (Figur 12). Boxplot av HIs hydrografidata og eKlimadataene (begge representert ved temperatur) viser at det er ingen regionale forskjeller i denne variabelen, bortsett fra at variasjonen i temperatur er noe større i Skagerrak enn på Sør-Vest- og Vestlandet. Bildet ville muligens sett annerledes ut hvis vi hadde valgt en annen klima-parameter til dette, for eksempel en nedbørsrelatert parameter.



Figur 12. Boxplot over regionale forskjeller i størrelse og variasjon av påvirkningsfaktorer. Legg merke til log-transformerte y-akser for RID og NVE, som er valgt for å synliggjøre variasjonen ved lave y-verdier og således forbedre lesbarheten av figuren.

Undersøkelsene av eventuelle regionsvise forskjeller i effekten av påvirkningsfaktorer på sukkertaren utgjorde til sammen et stort antall analyser (363 stk.) og kunne ikke presenteres i detalj, hver og en. I stedet viser vi en samletabell der vi har beregnet andel (%) signifikante positive og negative effekter av hver påvirkningsfaktor for henholdsvis Skagerrak, Sør-Vestlandet og Vestlandet (Tabell 19). Ofte vises et motsatt mønster slik at når effektene er positive i Skagerrak (f.eks. for RID og NVE og delvis hydrokjemi), er de positive på Sør-Vest- og Vestlandet, og omvendt (f.eks. for fangstanalysen – basert kun på en variabel).

Tabell 19. Andelen (%) signifikante positive og negative effekter av hver påvirkningsfaktor for henholdsvis Skagerrak, Sør-Vestlandet og Vestlandet. Kun signifikante variable er med i tabellen, slik at tallene summerer seg ikke alltid til 100 for hver kombinasjon av region og datasett for påvirkningsfaktor. Se vedlegg 2 for mer detaljer.

Datasett	Effekt	Skagerrak	Sør-Vestlandet	Vestlandet
RID	Negativ	0 %	69 %	89 %
	Positiv	80 %	4 %	0 %
eKlima	Negativ	41 %	6 %	41 %
	Positiv	43 %	14 %	43 %
HI	Negativ	50 %	50 %	0 %
	Positiv	50 %	0 %	0 %
NVE	Negativ	0 %	20 %	60 %
	Positiv	80 %	40 %	0 %
Fangst	Negativ	100 %	0 %	0 %
	Positiv	0 %	100 %	100 %
Hydrokjemi	Negativ	17 %	42 %	36 %
	Positiv	50 %	17 %	18 %
Geofysikk	Negativ	20 %	60 %	40 %
	Positiv	40 %	20 %	20 %

5. Diskusjon

Denne undersøkelsen har behandlet et meget stort datamateriale, og med slike store datamengder er det lett å finne signifikante påvirkningsfaktorer. Imidlertid var forklaringsgraden generelt lav i analysene, bl.a. fordi flere av dataseriene er korte, og har forskjellig design i ulike perioder. Hovedkonklusjonene var likevel konsistente, og med stor sannsynlighet å finne signifikante påvirkningsfaktorer med dette omfattende datamateriale, kan man sammen med andre relevante studier indikere hva som er årsakene til de endringene som er sett. For å forklare faktorer som påvirker sukkertarens tilstand og endringer i sukkertarebestanden over tid er resultatene fra de ulike analysene i dette tallmaterialet sett i lys av andre kilder om studier på sukkertare som er relevante, men som ikke direkte kan bidra med data inn i våre analyser. Disse kildene er diskutert i kontekst av spørsmålene dette prosjektet skulle fokusere på. Mens hovedresultatene er konsistente, kan enkelte resultater virke motstridende. Dette er også diskutert.

5.1 Hvilke faktorer påvirker sukkertarens bestandsutvikling?

Analysene viser det store tapet av sukkertare i Skagerrak fra slutten av 1990-tallet og noe bedring i tilstanden etter 2005. For perioden det finnes data for (fra 2005) viste analysene en svak nedadgående trend for bestander av sukkertare på Sør-Vestlandet og Vestlandet, men data fra perioden da mye av sukkertaren forsvant i disse områdene mangler. I hovedanalysen vises NAO som en viktig faktor for sukkertarens forekomst. Dette er en generell klimaindeks som gjenspeiler flere faktorer som påvirker sukkertare i ulike livsstadier, og de ulike analysene viser særlig at faktorer som henger sammen med vannføring og tilførsler (partikler, secchidyp, næringssalter) og klima, som temperatur, vind og nedbør bidrar til en samlet påvirkning på sukkertarens tilstand. At mange av variablene i analysene er korrelerte (f.eks. RID-dataene, se kapittel 4.2.1) støtter opp under en konklusjon om at det er flere samvirkende faktorer. Imidlertid kan det være andre påvirkningsfaktorer som ikke fanges opp av analysene, eller som skjules ved at faktorer motvirker hverandre. Det kan også være påvirkningsfaktorer som ikke er målt eller overvåket som virker gjennom økologiske mekanismer. For NAO og klimarelaterte påvirkningsfaktorer som varierer fra år til år, vil en mild og nedbørsrik sommer føre til mye avrenning som fører med seg partikler og næringssalter, men som medfører moderat sjøtemperatur. En tørr og varm sommer vil føre til mindre avrenning men med høye temperaturer som kan stresse sukkertaren. Det betyr at både våte og tørre somre har både positiv og negativ påvirkning på sukkertare. Kompliserte sammenhenger mellom påvirkning som kan være både synergistisk og antagonistisk gjør at det blir vanskelig å tolke noen av testene som viser ulike påvirkninger av faktorer mellom regionene Sørlandet, Sør-Vestlandet og Vestlandet. Spesielt Skagerrakkysten er påvirket av Skandinavias største elvetilførsler som også drenerer flate jordbruksområder, mens Vestlandet har annet klima, annen topografi og også sterkere tidevannsstrømmer enn Skagerrak, forhold som ikke er med i analysen.

Analysene viser en jevn og moderat tilbakegang av sukkertare de fleste steder, men på indre deler av Skagerrak har det vært perioder på 2000-tallet med stor tilbakegang, men som har tatt seg noe opp igjen. Moy og Christie (2012) og flere andre undersøkelser har beskrevet sukkertarebestanden som lavere på Skagerrak og Vestlandet de senere år sammenliknet med tilgjengelige beskrivelser fra 1900-tallet. Imidlertid er det stor tilstandsvariasjon mellom ulike studier og mellom år og sesonger. Moy m.fl. (2007, 2008, 2009) og Moy og Christie (2012) fant bestanden mest påvirket på beskyttede områder langs Skagerrakkysten, men også tegn til bedring fra og med 2008. Denne forbedringen er senere bekreftet gjennom Sukkertareovervåkingen (Norderhaug m.fl. 2013) og senere ØKOKYST Skagerrak (Moy m.fl. 2014). Sukkertare er en art med opportunistiske livshistorietrekk med høyt rekrutteringspotensiale (Andersen 2013) og kan dermed reetablere seg ganske raskt etter at den har blitt redusert. Data fra kapittel 4.1 viser det som ble antatt av Moy og Christie (2012) og analyser gjort i KYS (Norderhaug m.fl. 2013) at på stor skala synes sukkertare å være i klar reduksjon tidlig på 2000-tallet, for så å ta seg noe opp utover mot 2010. Det har vært en hypotese at spesielt varme somre rundt 2000 har satt fart i sukkertarens tilbakegang, og selv om denne tallknusingsanalysen og diskusjonen i Moy og Christie (2012) ikke påviser høy temperatur som en framtrødende faktor, viser analysene at i indre områder gikk sukkertarettetheten fra spredt-vanlig tidlig på 1990-tallet til enkeltfunn-spredt etter 2005.

Analysene av de ulike stadier av sukkertare (4.1) viser ingen klare trender i rekruttering av nye planter eller fordeling av unge og gamle planter i de rutetellingene som inngikk i analysen. Det kan heller se ut som om det kan være lokale faktorer som spiller inn, for eksempel hvor stor del av hver rute som til en hver tid var okkupert av slam eller andre alger. Både tilførsler av sporer og hvor mye plass det er tilgjengelig for oppvekst av ny sukkertare kan være styrt av tilfeldigheter som påvirker lokale forhold. Når tidsseriene for overvåking av sukkertaren blir lengre vil de kunne si mer om slike sammenhenger. I eksperimentelle studier, for eksempel ved å skrape bunnen eller sette ut kunstig substrat kunne man gjøre forsøk for å studere hvordan ulike livsstadier til sukkertare påvirkes i ulike nivåer av påvirkningsfaktorer.

Det ble vist negativ påvirkning av næringssalter på sukkertare i analyser fra tilførsler, men positiv i analyser fra målingene fra KYS som er tatt lenger ut i skjærgården. Næringssalter er nødvendig for sukkertare, i likhet med alle andre alger. Dersom konsentrasjonene av næringssalter øker mye over bakgrunnsnivå vil dette imidlertid gi eutrofe forhold og hurtigvoksende trådformede alger (sommerralger) vil kunne få et konkurransefortrinn og kan overgro sukkertaren i konkurranse om lys, eller at de konkurrerer om plassen med sukkertarens rekrutter. Data på påvekstalgers og andre epifytters påvirkning på sukkertarebestander er ikke tilgjengelig i denne analysen, men Andersen (2013) viste høy dødelighet hos sukkertare ved høy temperatur (og økt respirasjon) i kombinasjon med redusert fotosynteseaktivitet på grunn av svekket lys som sammen førte til et negativt karbonbudsjett for sukkertare. Redusert lys for sukkertare forekommer ikke bare ved påvekst på sukkertarens blad, men også ved generell formørkning av vannmassene på grunn av høyt partikkelinnhold (jfr. negativ påvirkning ved økning av partikler, økt avrenning, redusert siktedyp).

Ingen stor effekt av temperatur framkom av analysene. Dette kan skyldes at de største datasettene er fra en periode på 2000-tallet som ikke har vært påvirket av spesielt varme somre. Økte, og kritisk høye sjøtemperaturer har vært sannsynlig viktig årsak for bestandsnedgang av sukkertare både nasjonalt og internasjonalt (Andersen m.fl. 2011), noe som er spesielt aktuelt for Skagerrakregionen der sommertemperaturer, i alle fall i de aller øverste vannlag, når sukkertarens øvre tålegrense. Temperatur har også blitt funnet som en viktig faktor i flere av analysene, men både Moy og Christie (2012) og Andersen (2013) finner det sannsynlig at temperatur alene ikke har vært avgjørende for å redusere bestanden på 2000-tallet, og sukkertare har hatt god overlevelse også noen steder nær overflaten der temperaturen er høyest.

Resultatene påpeker en positiv påvirkning av sterke vinder og også positiv effekt av store bassenger. Vind gir omrøring av øvre vannmasser og kan øke vannbevegelsen over algebladene og på den måten blant annet øke utveksling av næring mellom vannet og algen. Det kan være en mulig interaksjon mellom vind og bassengeffektene. I områder som er preget av innelukkete bassenger vil ikke sterke vinder få stor påvirkning, og analysen viser at sukkertaren er mer sårbar i indre og beskyttede områder enn lenger ute på kysten der vind og bølgebevegelse er kraftigere. Pihl m.fl. (1999) har vist at ålegrasbestander på den svenske vestkysten blir negativt påvirket av påvekstalg og at disse påvekstalgene blir revet bort og forsvinner der vannbevegelsen er høy. Moy m.fl. (2008, 2009) viser også til at sukkertare trives bra i ytre områder med god vannbevegelse, men at tilstanden først og fremst reduseres innover i beskyttede fjord- og skjærgårdsområder. Dette kan sannsynligvis forklare analyseresultater som viser at næringssalter kan virke positivt på sukkertare i ytre områder, men negativt i indre kyststrøk der næringen i større grad resulterer i vekst av konkurrerende alger.

Enkelte resultater kan virke motsigende, slik som at NH₄ er lite viktige i analysen av RID-data men viktig i analysen av hydrokjemidata fra overvåkingsprogrammene. Dette kan være statistiske artefakter (for eksempel at ulike deler av datamaterialet er med i de ulike analysene) og vi kan ikke fullt ut forklare slik inkonsistens. Imidlertid kan dette også være reelle mønstre som kommer av rask dynamikk i omsetning av NH₄ som gjør det vanskelig å påvise sammenheng mellom konsentrasjoner i elvevannet og forekomst av sukkertare i gjennomsnittlig lang avstand fra elveutløpet. Likevel indikerer høye NH₄-konsentrasjoner høye elvetilførte næringssalter til fjord og kyst. I stor grad er elvetransporterte (RID) næringssalter funnet å ha en negativ effekt på sukkertarens tilstand, mens næringssalter målt lenger ute (hydrokjemimålinger i KYS og KYO) har positive effekter. Dette kan henge sammen med at det er andre påvirkningsfaktorer som forstyrrer analyseresultatene, slik som mengde suspendert partikulært materiale.

Hovedanalysen (4.3) viser at sesong og dyp er viktige faktorer for forekomst av sukkertare. Dette er faktorer som påvirker naturlig voksested og populasjonsdynamikk til sukkertaren og har ikke direkte påvirkning på de faktorene som er i fokus i denne analysen.

5.2 Hvilke faktorer påvirker sukkertaren mest?

I hovedanalysen kom NAO ut som en viktig faktor, og som beskrevet ovenfor er dette sannsynlig et uttrykk for at en rekke faktorer som reguleres mer eller mindre direkte av klima er de mest viktige i et område der sukkertare er nær sin klimatiske tålegrense. Resultatene viser hvordan sammenhengen mellom partikler, temperatur og næringssalter (som øker med økt nedbør og avrenning) påvirker sukkertarens forekomst. Ved å vurdere de samlede resultatene fra Sukkertareprosjektet kunne ikke Moy m.fl. (2009) og Moy og Christie (2012) peke ut en enkeltfaktor som alene kunne forklare den observerte nedgangen av sukkertarebestander, og konkluderte derfor at det måtte være et samvirke av flere faktorer. Andersen (2013) fant høy dødelighet for sukkertare utover sensommer og høst da temperaturen var på det høyeste og påvekstlger og andre epifytter var på det tetteste. Dødelighet av sukkertare både på grunt vann, men også i den dypeste delen av vertikalutbredelsen, utover sommeren indikerer ikke bare påvirkning fra høy temperatur, men at reduserte lysforhold i en årstid da temperaturen er på det høyeste også kan stressere tareplantene. Andersen (2013) tillegger epifyttene stor vekt ved at de reduserer lystilgangen, men vi har ikke resultater fra undersøkelser som kan inngå i en analyse av betydningen av epifyttenes dekning, deres relative konkurranse om lys og deres eventuelle fysiske skade på sukkertarebladene.

Moy m.fl. (2009) og Moy og Christie (2012) nevner også flere andre mulige faktorer som det ikke har vært mulig å teste i datamaterialet vi hadde tilgjengelig, og som derfor blir mer hypoteser enn konklusjoner. Vannbevegelse forårsaket av bølger og tidevann er nevnt som mulig viktige faktorer, og det faktum at sukkertaren synes å overleve godt i ytre områder sammenliknet med mer beskyttede områder burde analyseres nærmere (se figur 2). Likeledes, mulige endringer i beitepress eller effekten av biologiske interaksjoner og såkalt «top down påvirkning» som er dokumentert fra for eksempel Sverige (Baden m.fl. 2012) og fra USA (Hughes m.fl. 2013) bør studeres nærmere i Norge. Vi kunne ikke finne noen direkte effekt av torskedata for sukkertare, men fangstdata for Skagerrak var (og har i lang tid vært) lavere enn på Sør-Vest- og Vestlandet slik at biologiske interaksjoner som virker over flere nivåer i næringskjeden kan ha gjort sukkertareøkosystemet i Skagerrak mindre robust. Teorien er at nedgang i kysttorskbestandene har ført til framvekst av mindre rovdyr (små fisk) som har ført til reduksjon i mengden av små beitedyr (snegl, krepsdyr) som normalt holder sukkertarens blader rene for skadelig påvekst (hurtigvoksende ettårige alger). Dermed kan nedgang i bestander av store rovfisk øke eutrofi-effekter. Data presentert fra Havforskningsinstituttets strandnot-undersøkelser på Skagerrakkysten som vi ikke hadde tilgang til i denne studien, viser lav rekruttering av torskefisk siden 1970-tallet (Johannessen 2014, Fig 2.4) og en oppgang av leppefisk og kutlinger. Imidlertid er få av strandnot-stasjonene nær sukkertarestasjonene. Slike sammenhenger er komplisert å studere og slike forhold kan først og fremst belyses ved eksperimenter (se f.eks. Moksnes m.fl. 2008).

5.3 Hvordan har påvirkningen fra disse faktorene endret seg over tid?

Det framgår av analysen i 4.1 og i tabell 20 nedenfor at sukkertarebestandenes tilstand har variert med tid, at det har vært en generell tilbakegang av sukkertare men også en bedring de siste årene. Hvordan de ulike faktorene har påvirket sukkertarens endringer over tid har vært vanskelig å påvise i analysene, noe som kan være fordi flere faktorer virker sammen. De store datamengdene kan koble data på sukkertaretilstand opp mot en rekke miljøvariable, men materialet er kort og lite egnet til å analysere trender over tid. Også resultatene presentert fra rutetellinger (som er diskutert ovenfor) viser få tegn på klare tidstrender. Andre data som kan relateres til trendene i sukkertarens bestandsutvikling er den generelle økningen i havtemperatur gjennom de siste ti-år (Northern hemisphere temperature increase), men flere steder har temperaturøkningen flatet noe ut det siste tiåret, bortsett fra en ekstrem høy sommertemperatur i 2014. Moy m.fl. (2009) viser til nedgang i næringssalttilførsel til Skagerrak men en økning på Vestlandet. Hvordan bidraget fra hver faktor teller og hvordan synergismen (og også i noen tilfeller antagonismen) fra de ulike faktorene fungerer vet vi foreløpig lite om.

KYO-datasettet (1990-2011) fra ytre kyst er den lengste tidsserien som er samlet inn på en konsistent måte og egner seg derfor best for å se på tidstrender, men dette datasettet egner seg mindre godt i denne sammenheng fordi lite sukkertare på ytre kyst ikke nødvendigvis betyr dårlig tilstand, men at sukkertaren er utkonkurrert av stortare (på ytre kyst er stortare en dominerende konkurrent til sukkertare).

Tabell 20. Sukkertaretilstand i Skagerrak, Rogaland, Hordaland og Sogn- og Fjordane. I perioden 2005-12 er tilstanden vurdert på gjennomsnitt av forekomst på 5-6m dyp på dykketransekt og tre nærliggende droppkamerastasjoner. I ØKOKYST (2013) vurderes tilstanden ut fra forekomst på 5-6m dyp på dykketransektet. Tabellen er hentet fra årsrapporten til ØKOKYST Skagerrak (Moy m.fl. 2014).

	Vestkysten	Brattøy	Storøya	Risøyvarden	Robbesviken	Tvillingholmen	Hornbøøy	Korsvikfjorden	Bertlibukta	Tregde	Tingholmen	Rosøy	Haugneset	Langøya	Gestevik	Afjorden
	HB1	HB2	HB3	HB4	HB5	HB6	HB7	HB8	HB9	HB10	HB11	HB12	HB13	HB14	HB15	HB16
2005																
2006																
2007																
2008																
2009																
2010																
2011																
2012																
2013																

5.4 Er det geografiske forskjeller mellom påvirkningsfaktorene?

Når det gjelder regionale forskjeller som analysene viser for regionene Skagerrak, Sør-Vestlandet og Vestlandet framkommer det flere forskjeller mellom Skagerrak og de to andre regionene, særlig når det gjelder vanntilførsel (både RID og NVE data) og partikler. Våre tester viser ulike påvirkningsfaktorer med ulike effekter på sukkertare mellom regionene, men ut fra analysene er det vanskelig å forklare hvordan påvirkningen er. Mulige påvirkninger som følge av forskjeller i sjøtemperatur og vannbevegelse mellom regionene burde følges opp, for flere av disse faktorene er ikke testet pga. manglende sammenliknbare data. Også i dette tilfellet er det viktig å få en bedre forståelse av mekanismene med flere samvirkende faktorer før man kan forklare hvordan de vil påvirke i de ulike regioner, men det er sannsynlig at forskjellene i påvirkningsfaktorer er årsak til forskjellene i nedgang i bestandene av sukkertare mellom Skagerrak og Vestlandet som er blitt beskrevet av bl. a. Moy m.fl. (2009). Analysene av regionale forskjeller i påvirkningsfaktorenes effekt på sukkertare i dette prosjektet hentyder at Sørlandet skiller seg ut og at Sør-Vestlandet og Vestlandet viser likens mønstre. Det finnes få undersøkelser om sukkertarens tilstand fra Midt-Norge. I Nord-Norge er mye av sukkertaren beitet bort av kråkeboller (Norderhaug & Christie 2009).

Sukkertare dominerer indre, bølgebeskyttede områder. I ytre, eksponerte områder dominerer stortare. Dårlige forhold kan dermed tenkes å gi utslag i mindre sukkertaredominans i indre områder men mer sukkertare i ytre områder (dersom forholdene innebærer mindre konkurranse fra stortare). Slike lokal-geografiske forskjeller er ikke systematisk studert og kunne derfor ikke inngå i analysen..

5.5 Er det noe forskjell i hvilke faktorer som har størst påvirkning i løpet av året?

Sesong er beskrevet som en viktig faktor i hovedanalysen, men ulike påvirkninger gjennom året er ikke analysert fordi de aller fleste observasjoner er samlet i mai-juni. Analysen av de ulike livsstadiene, som kan

avdekke integrerte effekter som påvirker rekruttering (om vinteren) eller forskjell i dødelighet gjennom ulike sesonger, viste ikke noen klare mønstre (se over). Vi vet imidlertid fra andre undersøkelser at effekten av næringssalter er størst når temperaturen er høyest og fører til påvekst som har størst påvirkning på sukkertaren om sommer og høst (Moy og Christie 2012, Andersen m.fl. 2011, Andersen 2013). Det er i denne perioden det er funnet størst dødelighet. Moy og Christie (2012) fant også at sedimenterte partikler (slam) og trådformete alger som samlet seg på bunnen gjennom høsten og vinteren skapte problemer for ny rekruttering av sukkertare, som i utgangspunktet synes å ha et stort årlig rekrutteringspotensiale (Andersen 2013).

5.6 Hvordan påvirker disse faktorene sukkertaren under ulike livsstadier?

Faktorer som påvirker de ulike livsstadier er vanskelig å belyse i en analyse som dette. Det er svært ulike miljøforhold som påvirker de mikroskopiske sporer og gametofytt-stadiet sammenliknet med sporofyten som utgjør den observerbare sukkertareplanten. Igjen er det andre forhold som påvirker produksjon av sporer som har betydning for rekrutteringspotensialet. Data presentert for de ulike livsstadier av sukkertare (4.1) varierte mye, både lokalt, mellom år og for de ulike deler av landet, og det var vanskelig å påvise noe mønster. Det er ovenfor satt i sammenheng med lokale stokastiske variable. Andersen m.fl. (2011) fant at sukkertaren har høyest dødelighet om sensommer/høst, og at det først og fremst er de store, voksne plantene som er mest utsatt. Dette er sannsynlig en dødelighet som skyldes andre årsaker enn bare naturlig avgang. Sukkertaren blir normalt 3 år gammel, og slik strategi med høy rekruttering vil gi rom for noe årlig fluktuasjoner. Det ser imidlertid ut som det er nok overlevende planter på de fleste sukkertarelokaliteter til å sikre en videreføring av bestanden hvis forholdene ligger til rette med egnet substrat for rekruttering. Tepper av slam (sedimentering som synes å foregå gjennom hele året) og trådformede alger som vi har sett i Skagerrak kan imidlertid hindre ny rekruttering av sukkertare (Moy et al. 2009). Sukkertareovervåkingen (2009-2012) og senere ØKOKYST Skagerrak (fra 2013) og Rogaland (fra 2014) gjennomfører registrering av ulike livsstadier av sukkertare og vil over tid samle data som kan brukes til analyse av hvordan ulike faktorer virker på ulike stadier.

5.7 Konkluderende kommentarer

Sukkertarens tilstand kom først i fokus etter at man oppdaget den dårlige tilstanden i 2002 og 2003, og analysene er gjennomført på data som hovedsakelig er fra tidsrommet etter at sukkertaredøden og nedgangen i bestandene ble rapportert. Det kan derfor være vanskelig å fastslå årsaker til endring over tid i sukkertaretilstanden. Resultatene av analysene viser allikevel at et sett av flere faktorer som kan settes i sammenheng med klimaendringer og næringssalter er den viktigste årsaken. Det er lite som tyder på at en enkelt faktor alene har hatt avgjørende betydning.

Resultatene fra analysene i denne undersøkelsen understøttes av tidligere studier, men også undersøkelser utført så sent som høsten 2014 som ikke var tilgjengelig for våre analyser. Sommeren 2014 var svært varm og de nevnte undersøkelser gjennom sommeren og høsten 2014 (upubliserte feltobservasjoner fra Oslofjorden, Skagerrak og Vestlandet) viste at det fortsatt var overlevelse av sukkertare. Temperatur alene ser dermed ikke ut til å være årsak til at sukkertaren har forsvunnet, noe som også understøttes av konklusjonene til Moy og Christie (2012) og Andersen (2013). Våre analyser har vist et mer sammensatt bilde av flere faktorer.

Økende havtemperatur har ført til en forflytning nordover i utbredelsen til en rekke marine planter og dyr. Det er naturlig å tro at også sukkertarebestandene, særlig i Skagerrak, vil bli redusert på grunn av klimaendringer i framtiden. Milde og nedbørsrike vintre som følge av klimaendringer vil føre til økt partikkelavrenning som vil påvirke sukkertaren negativt, både ved å redusere lysforhold og hindre ny rekruttering ved tilslamming av bunnen. Selv om sukkertaren kan tolerere varmere havtemperaturer, vil også økende respirasjon i sommerhalvåret føre til at plantene blir mindre robuste når de utsettes for andre påvirkninger i tillegg.

6. Forvaltningsråd

Konklusjonen fra disse «tallknus-analysene» er med stor sannsynlighet at sukkertarebestandene påvirkes negativt av et sett med faktorer som sannsynligvis virker sammen. Dette er faktorer relatert til klimaendringer, i kombinasjon med tilførsler av næringssalter. Vi konkluderer med at det er ulikheter i påvirkningsfaktorene mellom Sørlandet på den ene siden og Sør-Vestlandet og Vestlandet på den andre siden. Det diskuteres i tillegg om andre faktorer, som vannbevegelse og endringer i trofiske interaksjoner (endringer i næringskjeder), kan spille en viktig rolle, men dette er vel så mye basert på ulike hypoteser fra andre undersøkelser fordi data i denne analysen ikke kan belyse disse faktorer godt nok.

Siden sukkertare er en flerårig stor brunalge og en viktig brikke i kystøkosystemet, samtidig som utbredelsesareal og produksjon er av et slikt omfang at det representerer store verdier og økosystemtjenester langs kysten, er det viktig å følge med på tilstanden til denne nøkkelarten. Den overvåkingen som pågår er nødvendig for å fastsette tilstanden til et av de viktigste økosystemene på grunt vann langs kysten. Siden overvåkingen har pågått til et fast tidspunkt på forsommeren gjennom mange år er det en tungtveiende grunn til å fortsette med det. For sukkertare isolert sett ville imidlertid beste tidspunkt for overvåking være høsten, rett etter årets varmeste periode, fordi overgroingseffekter og muligheten til å vurdere potensielt dårligste tilstand er størst om høsten. Imidlertid vil overvåking neste forsommer belyse den mer langsiktige og integrerte trenden av dødelighet og rekruttering. Det vil gi viktige data om et mindre utvalg av de faste stasjonene også ble overvåket på sensommeren både for å få data som viser dødelighet av både unge og eldre planter relatert til det årets sommertemperatur, og også undersøke grad av påvirkning av påvekstaler og andre epifytter.

Dette studiet har vist betydningen av at data som samles er egnet for svare på de spørsmål man trenger svar på («fit for purpose») og kan sammenlignes med data fra andre områder. Langsiktig tankegang i miljøovervåking og forvaltning er nødvendig for å forstå de store endringene som observeres i våre kystområder. Dette er ikke spesielt for Norge, men et fenomen som skaper bekymring i mange kystområder globalt. Årsaken knyttes ofte til komplekse sammenhenger mellom en rekke faktorer (multiple stressors, inkludert klimaendringer) forårsaket av stort press i kystsonen med stor befolkningstetthet og mye menneskelig aktivitet både på land i kystnære områder og i kystvannet. Miljøovervåking skal både fange opp endringer i utfordringer og spørsmål forvaltningen trenger svar på og samtidig ivareta nok kontinuitet til å gi godt datagrunnlag for analyse av årsakssammenhenger. Den helhetlige tankegangen som følger av Vannforskriften kan gi slike data, dersom relevante data samles inn og historiske dataserier brukes der de kan. Av konkrete råd om data og design som denne studien har avslørt behov for kan følgende nevnes:

- Tilstanden for sukkertare i Midt-Norge er lite kjent og bør undersøkes. Basert på resultatene bør overvåking vurderes. Dette vil både gi viktig informasjon om sukkertaretilstanden lengre nord men også øke forståelsen av sukkertaretapet i alle regioner fordi sammenligning mellom regioner med ulike miljøforhold og påvirkning kan bidra til å belyse årsaker til reduksjonen i sukkertaretilstanden. Slik overvåking bør inkludere stasjoner innen samme region men med ulik påvirkning.
- Undersøkelser i ulike regioner bør gjøres med sammenlignbare metoder for å gi sammenlignbare data om tilstand og påvirkning på ulike livsstadier.
- Overvåking og undersøkelser må kombineres med eksperimentelle forskningsbaserte studier som kan gi forståelse for mekanismer og underliggende årsaker til observerte mønstre langs kysten. Slike studier må skje på relevante skalaer og omfatte studier om samvirkende faktorer (multiple stressors)
- Innen overvåkingsprogrammene som nå foregår (ØKOKYST) bør det undersøkes hvorvidt hydrokjemistasjonene representerer forholdene på biologistasjonene godt nok i ØKOKYST-programmene. Løsningen med hydrokjemistasjoner som ligger i nærheten av de biologiske stasjonene er kostnadseffektiv. Dette er viktig for å sikre at designen på programmet egner seg til

formålet og at ressursbruken i overvåkingen er optimal. Slike analyser ble gjort av NIVA for Kystovervåkingsstasjonene etter ti års overvåking (sammenhengen mellom nitrogeninnhold i brunalger og konsentrasjoner i vannet, Kystovervåkingsens 10-årsrapport).

I Midt-Norge er det liten kunnskap om sukkertaretilstanden, og dette er bekymringsfullt med tanke på tilstandsutviklingen i Skagerrak og på Vestlandet de siste tiårene. Langs store deler av kysten i Nord-Norge er sukkertaren beitet bort av kråkeboller, men den er i framgang der kråkebollene blir borte. Det ser ut til at sukkertaren lenger nord er mindre preget av påvekst og at bestandene kan opprettholde frodig vegetasjon gjennom flere år (egne upubliserte observasjoner). En bredere geografisk sammenlikning vil mulig avdekke sammenhenger som kan være viktige for å forstå hva som påvirker tilstanden til sukkertare. Det er nylig satt i gang prøveprosjekter med dyrking av sukkertare som en ny akvakulturorganisme, både på Vestlandet og i Midt-Norge. Overvåking av naturlige sukkertareforekomster og sannsynlige påvirkningsfaktorer langs større deler av Norskekysten vil sannsynligvis bli mere aktuelt dersom en slik næring brer om seg.

Data om påvirkning samles gjennom kyst-overvåkingsprogrammene men også av andre overvåkingsprogrammer, f.eks. elveovervåkingen RID. For overvåking av påvirkningsfaktorer må prøvetakingsfrekvensen for det meste være høyere enn på effektsiden (biologisk overvåking). Flommer og algeoppblomstringer kan komme svært raskt (dager) og overvåkingsfrekvensen må være høy nok til å fange opp slike hendelser. Dette kan gjøres ved å ha høy frekvens på tradisjonell prøvetaking (f.eks. vannprøvetaking), men er svært ressurskrevende. Alternativt kan tradisjonell prøvetaking suppleres med hyppig prøvetaking ved bruk av rasjonelle metoder som f.eks. SOOP (Ship Of Opportunity, automatisert overvåking på ferger), observasjonsbøyer og satellitt.

Årsakene til bortfall av sukkertare og under hvilke forhold den kan reetableres kan ikke bare dokumenteres gjennom overvåking. For å identifisere underliggende årsaker kreves en kombinasjon av overvåking og eksperimentelle studier. Sukkertareprosjektet, finansiert av Norges Forskningsråd (2009-2011), har i så måte bidratt mye til forståelsen av mønstre i sukkertarens livsløp og sårbarhet til ulike kombinasjoner av påvekst/lyssvekkelse og temperatur (Andersen 2013). Det foreslås en utvidet studie av sukkertarens respons på lys, påvekst og temperatur ved ulike geografiske regioner og ved ulike grader av bølgeeksponering. Dette kan gjøres ved kombinasjon av feltstudier og eksperimenter med sukkertarens fysiologiske responser, noe som er gjennomførbart med de metoder som fins i dag. Det er satt fram hypoteser om andre faktorer enn de som det har vært mulig å analysere ut fra det foreliggende datagrunnlag, og om prosjekter som kan øke kunnskapen om påvirkninger på sukkertaren. Dette gjelder særlig samlet påvirkning fra temperatur, eutrofiering og endringer i beitepress. For å få god dokumentasjon om slike samvirkende prosesser er det nødvendig å utføre ulike typer felteksperimenter over geografiske og lokale gradienter slik som nevnt ovenfor, og i tillegg mer eksperimenter under kontrollerte betingelser. Mer kunnskap om påvirkningsfaktorer og mekanismer kan gi forslag til nye faktorer som bør inkluderes i overvåkingen.

7. Referanser

- Andersen, G.S., 2013. Growth, survival and reproduction in the kelp *Saccharina latissima* – Seasonal patterns and the impact of epibionts. Dr.gradsavhandling, Universitetet i Oslo.
- Bakke, T., Farmen, E., Golmen, L.G., Kempa, M., Johnsen, T.M., Åtland, Å. 2013. Statoil Kårstø Vedleggsrapport. Miljøkonsekvensvurdering av uhellsutslipp til sjø. NIVA rapport nr. 6303-2012. 68 s.
- Barton, D., Bechmann, M., Eggestad, H.O., Moe, J., Saloranta, T., Kuikka, S., Haygarth, P. 2008. EUTROBAYES - Integration of nutrient loading and lake eutrophication models in cost-effectiveness analysis of abatement measures. NIVA-rapport (OR-5555):82.
- Bekkby, T., Bodvin, T., Bøe, R., Moy, F.E., Olsen, H., Rinde, E. 2011. Nasjonalt program for kartlegging og overvåking av biologisk mangfold - marint. Sluttrapport for perioden 2007-2010. NIVA rapport 6105-2011. 31 s.
- Bekkby, T., Nilsson, H., Rygg, B., Isachsen, P.E., Olsgard, F., Isæus, M., 2008. Identifying soft sediments at sea using GIS-modeled predictor variables and Sediment Profile Image (SPI) measured response variables. Est., Coast. Shelf Sci. 79, 631-636.
- Bekkby, T., Rinde, E., Erikstad, L., Bakkestuen, V., 2009. Spatial predictive distribution modeling of the kelp species *Laminaria hyperborea*. ICES J. Mar. Sci. 66, 2106-2115.
- Berge, J.A., Amundsen, R., Bjerkeng, B., et al. 2011. Overvåking av forurensningssituasjonen i Indre Oslofjord 2010. NIVA-rapport nr. 6181-2011. 137 s.
- Bjerkeng, B. 2012. Effects of changes in monitoring design on precision of time trend assessments for contaminants in biota. KLIF rapport TA-2939/2012. 77 s.
- Bjerknes, J. 1964. Atlantic air-sea interaction. Adv Geophys 10:1-82.
- Burnham K.P., Anderson, D.R., Huyvaert, K.P. 2011. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and comparisons. Behav Ecol Sociobiol 65:23–35.
- Christensen, R.H.B. 2014. ordinal---Regression Models for Ordinal Data R package version 2014.11-14. <http://www.cran.r-project.org/package=ordinal/>.
- ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Green, N., Schøyen, M., Øxnevad, S., Ruus, A., Høgåsen, T., Beylich, B., Håvardstun, J., Rogne, Å., Tveiten, L. 2012. Hazardous substances in fjords and coastal waters - 2011. Levels, trends and effects. Long-term monitoring of environmental quality in Norwegian coastal waters. NIVA rapport nr. 6432-2012.
- Green, N.W., Schøyen, M., Øxnevad, S., Ruus, A., Høgåsen, T., Beylich, B., Håvardstun, J., Rogne, Å.K.G., Tveiten, L. 2012. Hazardous substances in fjords and coastal waters - 2011. Levels, trends and effects. NIVA rapport nr. 6432-2012. 264 s.
- Gundersen, H., Bekkby, T., Christie, H., Moy, F.E., Tveiten, L.A. 2012. Videreutvikling av indikator for sukkertare i Norsk naturindeks – modellering av referansetilstand for arealutbredelse. NIVA rapport nr. 6438-2012. 21 s.
- Hjermann, D., Ruus, A., Borgå, K., Gundersen, H., Knudsen, H., Olsen, E.M. 2013. Tallkusing av miljøovervåkingsdata. NIVA-rapport 6598. 40 s.
- Johannessen T. 2014. From an Antagonistic to a Synergistic Predator Prey Perspective: Bifurcations in Marine Ecosystem. Academic Press, 228 sider.
- Johnsen, T. og Trannum, H.. 2014. ØKOKYST – Delprogram Møre og Romsdal. Årsrapport 2013. Miljødirektoratet Miljøovervåkingsrapport M181 – 2014. 15 s.
- Lundsør og Bechmann. 2014. ØKOKYST-Delprogram Trøndelag. Årsrapport 2013. Miljødirektoratet Miljøovervåkingsrapport M182 – 2014. 44 s.
- Moe, S.J., Ptacnik, R., Penning, E., Kuikka, S., Malve, O. 2007. Statistical and modelling methods for assessing the relationships between ecological and chemical status in lakes REBECCA D12. NIVA rapport nr. 5459-2007. 38 s.
- Moy, F., og Christie, H. 2012. Large-scale shift from sugar kelp (*Saccharina latissima*) to ephemeral algae along the south and west coast of Norway. Mar Biol Res 8:309-321.

- Moy, F.E., Aure, J., Dahl, E., et al. 2004. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Årsrapport for 2003. SFT-rapport 901 – 2004.
- Moy, F., Christie, H., Steen, H., Stålnacke, P., Aksnes, D., Alve, E., Aure, J., Bekkby, T., Fredriksen, S., Gitmark, J., Hackett, B., Magnusson, J., Pengerud, A., Sjøtun, K., Sørensen, K., Tveiten, L., Øygarden, L., Åsen, P.A. 2009. Sluttrapport fra Sukkertareprosjektet 2005-2008. SFT-rapport 2467. 131 s.
- Moy, F.E., Naustvoll, L.J., Trannum, H.C., Norderhaug, K.M., Gitmark, J.K. 2014. ØKOKYST – delprogram Skagerrak. Årsrapport 2013. Miljødirektoratets rapport M179-2014. 44 s.
- Moy, Naustvoll, Trannum, Norderhaug, Gitmark. 2014. ØKOKYST – delprogram Skagerrak. Årsrapport 2013. Miljødirektoratet Miljøovervåkingsrapport M179 – 2014. 44 s.
- Naustvoll, Jåvold og Enersen. 2014. ØKOKYST – Delprogram Nordland. Årsrapport 2013. Miljødirektoratet Miljøovervåkingsrapport M183 – 2014. 9 s.
- Naustvoll, Trannum, Gitmark. 2014. ØKOKYST – Delprogram Hordaland. Årsrapport 2013. Miljødirektoratet Miljøovervåkingsrapport M180 – 2014. 25 s.
- Norderhaug, K., Naustvoll, L., Ledang, A., Bjerkeng, B., Gitmark, J. 2011a. Miljøovervåking av sukkertare langs kysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet 2009-2010. Årsrapport for 2009 og 2010. KLIF rapport TA-2776/2011. 80 s.
- Norderhaug, K., Naustvoll, L., Moy, F., Trannum, H., Bjerkeng, B., Gitmark, J. 2013a. Miljøovervåking av sukkertare langs kysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet 2012. Årsrapport for 2012. KLIF rapport TA-3029/2013. 47 s.
- Norderhaug, K., Tveiten, L., Trannum, H., Naustvoll, L., Bjerkeng, B., Sørensen, K., Gitmark, J., Brkljacic, M. 2013b. Miljøovervåking av sukkertare langs kysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet. Datarapport for 2012. KLIF rapport TA-3032/2013. 84 s.
- Norderhaug, K., Tveiten, L., Trannum, H., Naustvoll, L., Bjerkeng, B., Sørensen, K., Gitmark, J., Brkljacic, M. 2013b. Miljøovervåking av sukkertare langs kysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet. Datarapport for 2012. KLIF rapport TA-3032/2013. 84 s.
- Norderhaug, K.M., Ledang, A.B., Trannum, H.C., Bjerkeng, B., Aure, J., Falkenhaus, T., Folkestad, A., Johnsen, T., Lømsland, E., Omli, L., Rygg, B., Sørensen, K. 2011c. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. KLIF rapport TA-2777/2011. 115 s.
- Norderhaug, K.M., Naustvoll, L., Ledang, A.B., Bjerkeng, B., Sørensen, K., Moy, F., Gitmark, J.K., Walday, M., Tveiten, L. 2011b. Miljøovervåking av sukkertare langs kysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet 2009-2010. Datarapport for 2009 og 2010. KLIF rapport TA-2814/2011. 109 s.
- Norderhaug KM, Ledang AB, Trannum HC, Bjerkeng B, Aure J, Falkenhaus T, Folkestad A, Johnsen T, Lømsland E, Omli L, Rygg B, Sørensen K. 2011. Long-term monitoring of environmental quality in the coastal regions of Norway. Report for 2010. Klif report TA-2777. 115 pp.
- Norderhaug KM, Naustvoll L, Ledang AB, Bjerkeng B, Gitmark JK. 2011. Sugar kelp monitoring in the coastal regions of Norway. Report for 2009 and 2010. TA-2776. 80 pp.
- Norderhaug, K.M., Naustvoll, L., Moy, F.E., Trannum, H.C., Bjerkeng, B., Gitmark, J.K.. 2013. Miljøovervåking av sukkertare langs kysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet. Årsrapport for 2012. KLIF rapport TA-3029/2013. 47 pp.
- Norderhaug KM, Christie H. 2009. Sea urchin grazing and kelp re-vegetation in the NE Atlantic. *Mar Biol Res* 5:515-528.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Ranneklev S.B., Tjomsland, T., Kempa, M. 2013. Dumping av trafikkforurenset snø fra Drammen sentrum ved Holmennokken, Konsekvenser for vann- og sedimentkvalitet i Drammenselva og Drammensfjorden. NIVA rapport nr. 6481-2013. 37 s.
- Skarbøvik E., Stålnacke, P., Selvik, J.R., Aakerøy, P.A., Høgåsen, T., Kaste, Ø. 2011. Elvetilførselsprogrammet (RID) - 20 års overvåking av tilførsler til norske kystområder (1990-2009). Klif rapport nr. TA-2857/2011. 96 s.

- Skarbøvik E., Stålnacke, P., Selvik, J.R., Aakerøy, P.A., Høgåsen, T., Kaste, Ø. 2011. Elvetilførselsprogrammet (RID) - 20 års overvåking av tilførsler til norske kystområder (1990-2009). Klif rapport nr. TA-2857/2011. 96 s.
- Solheim, A.L., Austnes, K., Kristensen, P., Peterlin, M., Kodes, V., Collins, R., Semeradova, S., Kunitzer, A., Filippi, R., Prchalová, H., Spiteri, C., Prins, T. 2012. Ecological and chemical status and pressures in European waters. Thematic assessment for EEA Water 2012 Report. ETC./ICM Technical Report, vol. 1, 146 s.
- Staalstrøm, A., Borgersen, G., Tjomsland, T., Kempa, M., Brkljacic, M. 2013. Resipientundersøkelse i Sandsfjorden i Rogaland og modellering av partikkelspredning fra Norsk Stein sitt anlegg. NIVA rapport nr. 6523-2013. 55 s.
- Syvertsen, E.E., Gabestad, H., Bysveen, I., Salmer, M.P. 2010. Vurdering av tiltak mot bortfall av sukkertare. Arbeidsgruppen for sukkertare. KLIF rapport TA2585/2009. 101 s.
- Sætre, R., Aure, J. and Danielssen, D.S. 2003. Long-term hydrographic variability patterns off the Norwegian coast and in the Skagerrak. ICES Marine Science Symposia, 219: 150-159.
- Tjomsland, T., Selvik, J., Bränden, R. 2010. Teotil - Model for calculation of source dependent loads in river basins. NIVA-rapport nr. 5914-2010. 58 s.
- Tjomsland, T., Selvik, J., Bränden, R. 2010. Teotil - Model for calculation of source dependent loads in river basins. NIVA-rapport nr. 5914-2010. 58 s.
- Trannum m.fl. 2012a,
Trannum m.fl. 2012b
- Trannum, H.C., Norderhaug, K.M., Naustvoll, L., Bjerkeng, B., Gitmark, J.K., Moy, F. 2012a. Miljøovervåking av sukkertare langs norskekysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet Årsrapport for 2011. KLIF rapport TA-2903/2012. 60 s.
- Trannum, H.C., Norderhaug, K.M., Naustvoll, L., Bjerkeng, B., Sørensen, K., Gitmark, J.K., Brkljacic, M., Tveiten, L. 2012b. Miljøovervåking av sukkertare langs kysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet Datarapport for 2011. KLIF rapport TA-2904/2012. 95
- Walday m.fl. 2012. http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/216407/-1/6552-2013_200dpi.pdf
- Wood, S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 73:3-36.

8. Vedlegg

Vedlegg 1a. Uttrekk fra AquaMonitor

STATION_NAME	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Arendal St. 2	40	95	88	88	88	88	88	88	80	88	84	88	88	88	88	88	88	88	84	92	80	80			
Arendal St. 3	20	40	44	48	44	44	48	48	48	48	48	48	48	48	48	44	44	48	44						
Breviksfjorden																				33	50	64			
Color Festival																29	29								
Færder	60	68	48										32	36	40	29	28	36							
Færder_SOOP																			2	21	22			21	
Fjord Norway																28	42	45							
FN13_soop																			14	13	22				
FN16_soop																			15	17	22				
Håøyfjorden													223	155	231				91	12				84	
Håyfjorden																				28	44	54			
Hydrografisk stasjon Langesund																				84	18				
Jomfruland	60	85	84	76	72	68	68	72	60	84	76	72	84	56	88	88	88	88	88	88	88	92			
Jomfrulandsrennen											130	18	21	14	22	22	84	69	22	88	19				
Langesund																				21	84	18			
Langesundsfjorden													223	152	233				16	12			84		63
Lista	27	88	48	48	48	48	48	48	52	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48				
Missingen_SOOP																				10	22			21	
Missingene						27	40	60	45			342	326	313	338	223	210	94	30	67	84	84			
Nordfjorden/Risør																				28	40	44			
Risøysundet																				5	5				
Topdalsfjorden																				28	40	40			
Torbjørnskjær					27	40	60	45				311	277	313	367	271	216	93	56	102	119	84	147	105	
Utsira																	44	48	44	48	48				
V-2, O-2																									
Breviksfjorden																				33	44				

Vedlegg 1b. Uttrekk fra Vanmiljø

Vannlokalitet	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
Arendal St. 3 (A3)	242	489	542	586	537	538	581	202	143	299	267	283	299	280	275	243	277	303							
Arendal, A2 (VT1)	487	1198	1158	1156	1160	1137	1152	1160	1023	1158	1102	1153	1155	1159	1131	1147	1131	1157		822	715	1028		1191	
Bestøy (CF-4)						312	448	594	293				222	223	216	212	163	140	210	272	262	296			
Bjønnefjorden, HNSO																				95	101	173		490	
Barnsfjorden FN 13 (O-4)																				275	162	172			
CF Færder																									
Færder	727	859	601											360	402	447	312	314	383						
Håyfjorden, V-1														145	97	142			182	120		633	945		
Hålefjorden (V-5)																						475			
Jomfruland (I)	731	1080	1112	969	896	897	891	950	793	1105	982	944	1112	742	1098	1183	1263	1264		964	854				
Jomfrulandsrenna	16	20	20	20	17	17	17	17	15	20	310	86	104	70	110	110	313	267		307	73		160		
Krokstadfjorden													119	115	82	113									
Langesund																			22	525	57				
Langesundsfjorden, V-2														146	101	151			136	120	302	402	759	757	
Lista (L)	211	725	377	369	379	396	388	394	455	484	492	481	492	482	484	482	483	483		336	332				
Missingene (CF-2)						307	450	595	293				224	220	206	210	154	140	210	275	262	296			
Nordfjorden/Risør, V-3																							575	755	
Reumfjorden (SA, B)	120	148	60	54	35											190									
Reumfjorden FN 16 (O-5)																	108	264			134	172			
Ringsdal/fjorden, Isbakke (KA-5)													306	317	327	361	279	169	86	102	224	332			
Risøysundet																					14	10			
Svenner	16	20	2																						
Topdalsfjorden, V-4 (VT50)							310	446	599	293				207	191	206	222	177	140	207	264	534	537	902	
Torbjørnskjær CF-1 (VT-3)							6		5										472	529	326	320			
Utsira (U)																									

Vedlegg 2. Positive og negative effekter av hver påvirkningsfaktor for henholdsvis Skagerrak, Sør-Vestlandet og Vestlandet. Signifikante variable er vist i fet skrift.

Variabel	Skagerrak	Sør-Vestlandet	Vestlandet	Variabel	Skagerrak	Sør-Vestlandet	Vestlandet
RID_DisMean	POS	NEG	NEG	eKlima123_FGX	POS	POS	POS
RID_DisTot	POS	NEG	NEG	eKlima123_FXX	POS	POS	POS
RID_NH4	POS	NEG	POS	eKlima123_RR	NEG	POS	NEG
RID_NO3	POS	NEG	NEG	eKlima123_TAM	NEG	NEG	NEG
RID_PO4	POS	NEG	NEG	eKlima123_TAN	NEG	NEG	NEG
RID_SPM	POS	NEG	NEG	eKlima123_TAX	NEG	NEG	NEG
RID_TOC	POS	NEG	NEG	eKlima123_VSU	NEG	NEG	NEG
RID_TOTN	POS	NEG	NEG	eKlima2_FFM	POS	NEG	POS
RID_TOTP	POS	NEG	NEG	eKlima2_FFX	POS	NEG	POS
RID1_DisMean	POS	NEG	NEG	eKlima2_FGX	NEG	NEG	NEG
RID1_DisTot	POS	NEG	NEG	eKlima2_FXX	NEG	POS	NEG
RID1_NH4	POS	NEG	NEG	eKlima2_RR	POS	POS	POS
RID1_NO3	POS	NEG	NEG	eKlima2_TAM	POS	POS	POS
RID1_PO4	POS	NEG	NEG	eKlima2_TAN	NEG	NEG	NEG
RID1_SPM	POS	NEG	NEG	eKlima2_TAX	NEG	NEG	NEG
RID1_TOC	POS	NEG	NEG	eKlima2_TWM	POS	POS	POS
RID1_TOTN	POS	NEG	NEG	eKlima2_TWN	POS	POS	POS
RID1_TOTP	POS	NEG	NEG	eKlima2_TWX	POS	POS	POS
RID123_DisMean	POS	NEG	NEG	eKlima2_VSU	NEG	NEG	NEG
RID123_DisTot	POS	NEG	NEG	eKlima3_FFM	POS	POS	POS
RID123_NH4	POS	POS	NEG	eKlima3_FFX	POS	POS	POS
RID123_NO3	POS	NEG	NEG	eKlima3_FGX	NEG	NEG	NEG
RID123_PO4	POS	NEG	NEG	eKlima3_FXX	POS	POS	POS
RID123_SPM	POS	NEG	NEG	eKlima3_RR	POS	POS	POS
RID123_TOC	POS	NEG	NEG	eKlima3_TAM	POS	NEG	POS
RID123_TOTN	POS	NEG	NEG	eKlima3_TAN	NEG	NEG	NEG
RID123_TOTP	POS	POS	NEG	eKlima3_TAX	NEG	POS	NEG
RID2_DisMean	POS	NEG	NEG	eKlima3_TWM	POS	POS	POS
RID2_DisTot	POS	NEG	NEG	eKlima3_TWN	POS	POS	POS
RID2_NH4	POS	NEG	NEG	eKlima3_TWX	POS	POS	POS
RID2_NO3	POS	NEG	NEG	eKlima3_VSU	NEG	POS	NEG
RID2_PO4	POS	NEG	NEG	HI_Salt	POS	POS	NEG
RID2_SPM	POS	NEG	NEG	HI_Temp	NEG	NEG	POS
RID2_TOC	POS	NEG	NEG	NVE_vann	POS	POS	NEG
RID2_TOTN	POS	NEG	NEG	NVE1_vann	POS	POS	NEG
RID2_TOTP	POS	NEG	NEG	NVE123_vann	POS	NEG	NEG
RID3_DisMean	POS	NEG	NEG	NVE2_vann	POS	NEG	NEG
RID3_DisTot	POS	NEG	NEG	NVE3_vann	NEG	NEG	NEG
RID3_NH4	POS	POS	NEG	Fangst	NEG	POS	POS
RID3_NO3	POS	NEG	NEG	Hyd_Chla	POS	NEG	NEG
RID3_PO4	POS	POS	NEG	Hyd_NH4	NEG	NEG	POS
RID3_SPM	NEG	POS	NEG	Hyd_NO3NO2	POS	POS	NEG
RID3_TOC	NEG	NEG	NEG	Hyd_PO4	POS	POS	POS
RID3_TOTN	POS	NEG	NEG	Hyd_POC	POS	NEG	NEG
RID3_TOTP	NEG	POS	NEG	Hyd_PON	POS	NEG	NEG
eKlima_FFM	POS	NEG	POS	Hyd_POP	POS	POS	NEG
eKlima_FFX	POS	NEG	POS	Hyd_sal	POS	POS	NEG
eKlima_FGX	POS	NEG	POS	Hyd_Secchi	POS	POS	NEG
eKlima_FXX	NEG	NEG	NEG	Hyd_temp	NEG	NEG	POS
eKlima_RR	NEG	NEG	NEG	Hyd_TOTN	POS	POS	POS
eKlima_TAM	NEG	NEG	NEG	Hyd_TOTP	POS	POS	NEG
eKlima_TAN	NEG	NEG	NEG	Dem	POS	POS	NEG
eKlima_TAX	NEG	POS	NEG	Kurvatur	POS	NEG	NEG
eKlima_VSU	NEG	NEG	NEG	Basseng	NEG	NEG	NEG
eKlima1_FFM	POS	POS	POS	SWM	POS	NEG	POS
eKlima1_FFX	POS	POS	POS	Skråning	POS	NEG	POS
eKlima1_FGX	POS	POS	POS				
eKlima1_FXX	POS	POS	POS				
eKlima1_RR	NEG	POS	NEG				
eKlima1_TAM	NEG	NEG	NEG				
eKlima1_TAN	NEG	NEG	NEG				
eKlima1_TAX	NEG	POS	NEG				
eKlima1_VSU	NEG	NEG	NEG				
eKlima123_FFM	POS	POS	POS				
eKlima123_FFX	POS	POS	POS				

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no