

Sukkertarens naturlige utbredelse – modellering av referansetilstand for Norsk naturindeks

Av Hege Gundersen og Trine Bekkby

Hege Gundersen og Trine Bekkby er begge forskere ved Norsk institutt for vannforskning, NIVA.

Summary

Natural distribution of sugar kelp – modeling reference conditions for the Norwegian Nature Index:

Sugar kelp (*Saccharina latissima*) is an important indicator species within the Norwegian Nature Index, an index that measures the changes in biological diversity in Norway. The current indicator for sugar kelp is a semi-quantitative index largely based on expert assessment and subjective measures of abundance. The reference value is undifferentiated all along the Norwegian coast, not taking into account the natural variation of distribution in different water types and along geophysical gradients. We here present a numerical and verifiable method to determine the variation in the natural distribution of sugar kelp, which is essential for measuring potential changes under the Norwegian Nature Index.

Sammendrag

Sukkertare (*Saccharina latissima*) er en viktig indikatorart i Norsk naturindeks, en indeks som skal måle utviklingen av biologisk mangfold i Norge. Dagens indikator er en semi-kvantitativ indeks basert på ekspertvurdering og subjektive mål av mengde. Samme referanseverdien er benyttet for hele norskekysten og tar ikke hensyn til den naturlige variasjonen i vekstvilkår som finnes i ulike vanntyper og langs geofysiske gradienter. Vi presenterer her en numerisk og etterprøvbart metode for å angi variasjonen i sukker-

tarens naturlige arealutbredelse, noe som er essensielt for å ha et grunnlag for å måle eventuelle endringer som en del av Norsk naturindeks.

Sukkertare i Norsk naturindeks

Norsk naturindeks skal gi et overblikk over utviklingen av biologisk mangfold i Norge og identifisere viktige kunnskapsbehov for å kunne følge utviklingen framover (Nybø 2010). Indeksen bygger på en rekke indikatorer som samlet skal gi et representativt bilde av tilstanden til biologisk mangfold.

Indikatoren «Sukkertare» sorterer under økosystem «Kystvann-bunn» i naturindeksen. I beregningen av naturindeksen er sukkertare inkludert på grunn av dens viktige nøkkelrolle som leveområde for en rekke arter. Dagens indikator for sukkertare er i stor grad basert på ekspertvurdering og subjektive mål av mengde. Ved bruk av modellering basert på sukkertareobservasjoner ønsket vi å utvikle en numerisk og etterprøvbart metode for å angi variasjonen i sukkertarens naturlige arealutbredelse (dvs. referansetilstand), til bruk for å måle eventuelle endringer over tid som en del av naturindeksen. Sukkertarens utbredelse har blitt redusert siden 1990-tallet, særlig i Skagerrak (se Bekkby og Moy, 2011). Sukkertarens naturlige vekstmiljø ble i dette prosjektet definert ut fra miljøforholdene gitt i de områder der den ved en eller annen

anledning har blitt observert i løpet av en periode på 22 år. Dette inkluderer også de områdene der den tidligere har blitt observert og senere forsvunnet, eller omvendt. Antagelsen som ligger til grunn for beregning av referansetilstanden er derfor at til sammen dekker dataene de miljøforholdene der sukkertaren har sin naturlige utbredelse.

Sukkertare (*Saccharina latissima*) har sitt naturlige utbredelsesområde i bølgebeskyttede og middels eksponerte fjorder og skjærgårdsområder langs hele Norskekysten. Denne brunalgen blir opp til 3 meter lang og kan vokse på dyp ned til 30 meter. Sukkertareskog og andre tareskoger er blant de mest produktive økosystemene på jorda og har stor betydning for den totale produksjonen i kystsonen. De danner et tredimensjonalt system med stort nisje- og artsmangfold av både planter og dyr som lever i og av tareskogen (Christie m.fl. 2009).

Bruk av prediksjonsmodellering i forvaltningen

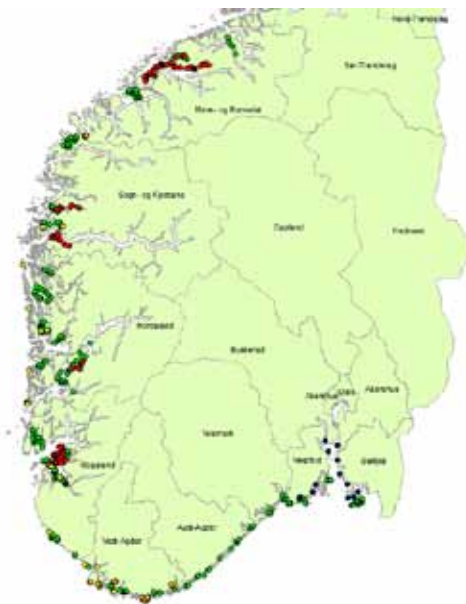
Prediksjonsmodeller for naturtyper har vist seg å være et svært nyttig og kostnadseffektivt supplement og alternativ i kartlegging og overvåking av arter, habitater (leveområder) og naturtyper i norske kyst- og havområder (Bekkby m. fl., 2008a, 2009, Soldal m. fl. 2009, Gundersen m. fl. 2011a). Heldekkende utbredelseskart, utviklet med modeller basert på innsamlet datamateriale med god romlig representativitet, er i økende grad etterspurt i forbindelse med innføring av EUs vanddirektiv og havdirektiv, marine verneområder, Nasjonalt program for kartlegging av biologisk mangfold, storskalaendringer relatert til klima og mer intensiv bruk av kystområdene til næringsvirksomhet. Tidligere har også referanseverdier for indikatoren «bløtbunn artsmangfold fauna» og «bløtbunn toleranseindeks» under økosystem «kystvann-bunn» blitt modellert for naturindeksen (Gundersen m.fl. 2010, 2011a).

Bruk av prediksjonsmodeller er den beste, og i praksis den eneste, måten å få fullstendig geografisk representativitet av referansetilstand for utbredelse i områder hvor en slik naturlig utbre-

delse ikke lenger finnes. Analyser som kobler en arts eller naturtypes utbredelse med viktige forklaringsvariable gjør oss i stand til å predikere referansetilstand for ulike områder av norskekysten.

Datamateriale

Gjennom ulike større og mindre prosjekter har NIVA akkumulert mye data på sukkertare i perioden 1990-2011. Disse stammer fra NIVAs sukkertareprosjekt (2003-2008, 458 stasjoner, Moy m.fl. 2009), Kystovervåkings- og Sukkertareovervåkingsprosjektene (1990-2010, 18 stasjoner, Norderhaug m.fl. 2010, Trannum m.fl. 2012), Ytre Oslofjordprosjektet (2007-2010, 12 stasjoner, Walday m.fl. 2011) og diverse overvåkings- og resipientundersøkelser i Agder og Sogn og Fjordane (1992-2007, 18 stasjoner, Jacobsen m.fl. 1994, Oug m.fl. 1994, Molvær og Jacobsen 1996, Kroglund og Oug 1999, Golmen m.fl. 2000, Kroglund 2000, 2004, 2008). Det samlede datamaterialet fra



Figur 1. Oversikt over det totale datamaterialet med fargekoder for hvert prosjekt. Sukkertareprosjektet (grønn), Kystovervåkings- og Sukkertareovervåkingsprosjektene (gul), Ytre Oslofjordprosjektet (blå), diverse overvåkings- og resipientundersøkelser i Agder og Sogn- og Fjordane (oransje) og data samlet inn i 2012 (rød).

perioden 1990-2011 strekker seg langs kysten fra svenskegrensen til Kristiansund i Møre og Romsdal. Disse stasjonene representerer stasjoner der man har funnet minimum enkeltplanter av sukkertare, og som dermed oppfyller kravene om å være en sukkertarestasjon. Etter å ha identifisert områder med datahull ble det samlet nye data sommeren 2012 (260 stasjoner) ved hjelp av undervannsvideo fra småbåt. Etter endt feltarbeid ble alle data slått sammen til et felles datasett med til sammen 766 datapunkter, figur 1.

For å kunne utvikle en prediksjonsmodell for naturlig utbredelse av sukkertare, integrerte vi arealdekkende GIS-kart for de miljøfaktorene som gjennom tidligere studier (Bekkby og Moy 2011) har vist seg å være relevante for sukkertarens naturlige utbredelse: dyp, skråning, bølgeeksponering, og de to terrengvariablene bassengdyp og kurvatur (Bekkby m.fl. 2008b, Isæus 2004). Alle GIS-kartene hadde en romlig oppløsning på 25x25 meter.

Modellering av sukkertarens naturlige utbredelse

Siden våre feltobservasjoner bestod kun av tilstedeværelse av sukkertare var det naturlig å bruke metoden MaxEnt (versjon 3.3.3k), som er et robust og presist verktøy i sammenligning med andre potensielle metoder (Elith m.fl. 2006). MaxEnt er en statistisk metode som bruker tilstededata (engelsk: «presence only») sammen med heldekkende geofysiske GIS-lag på miljøvariable til å analysere sammenhengen mellom disse. Metoden gir prediksjoner på kart og overfører dermed den statistiske informasjonen i punktene som er samlet inn til heldekkende modeller. Resultatet av en slik MaxEnt-analyse er, enkelt forklart, et sannsynlighetskart for hvor man skulle forvente å finne sukkertare gitt naturtilstand.

Vurdering av modellens kvalitet – modellvalidering

For å kunne gjøre en vurdering av kvaliteten av den statistiske modellen anbefales å teste prediksjonene på et uavhengig datasett (Phillips m.fl.

2006). Siden dataene fra sukkertareprosjektet hadde god geografisk dekning og var stort nok til å ligge til grunn for modelleringen, bestemte vi at dette skulle være treningsdataene våre, det vil si de dataene som bygde modellen (n=458). Resten utgjorde valideringsdatasettet som til sammen også hadde akseptabel geografisk dekning og utvalgsstørrelse (n=308).

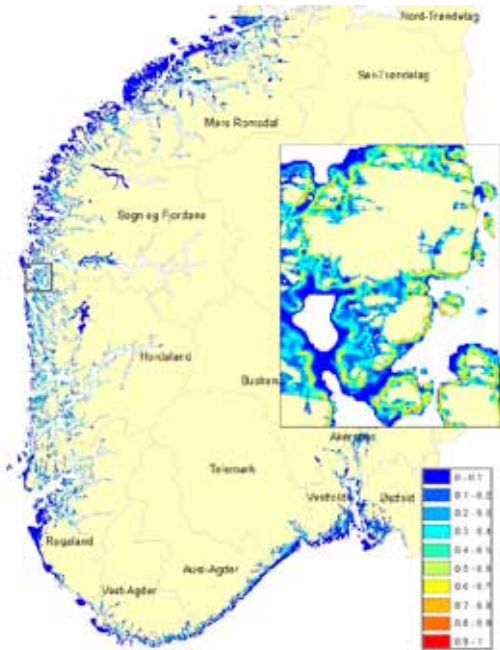
Økologisk tolkning

Skråning var den viktigste variabelen og forklarte 43 % av variasjonen i modellen. Deretter fulgte bølgeeksponering og dybde (som forklarte henholdsvis 29 % og 19 % av variasjonen) og til slutt kurvatur og bassengdybde (som forklarte henholdsvis 7 % og 1 % av variasjonen). Høyest sannsynlighet for sukkertare fant vi i områder ned til ca. 20 meter hvor det brått avtar mot større dyp. Høye verdier av skråning (dvs. bratte områder) og toppe i det marine landskapet indikerer hardbunn, og øker sannsynligheten for sukkertare. Det er kjent at sukkertare vokser i områder med lite til middels bølgeeksponering, noe som var tydelig i vår sannsynlighetskurve for bølgeeksponering.

Fra sannsynlighetskart til arealutbredelse

MaxEnt-analysen resulterte i et prediksjonskart for sukkertareutbredelse, med sannsynlighetsverdier mellom 0 og 1, kodet fra blått, via gult og grønt til rødt, figur 2. Verdier nær 1 viser høy sannsynlighet, mens verdier nær 0 viser lav sannsynlighet for sukkertare, gitt naturtilstand. Ingen av cellene i kartet hadde høyere verdi enn 0,8. Siden 25x25 meter er oppløsningen på GIS-lagene som inngikk i analysene, vil dette også være oppløsningen på prediksjonskartene. Prediksjonskartene med sannsynlighetsverdier for sukkertare er i seg selv ikke egnet for å beregne arealutbredelse av sukkertare, til det trenger man å sette en grense (eng: cut-off value) for hvilken sannsynlighet man mener skal definere tilstedeværelse av sukkertare. Vi valgte å trekke denne grensen der sannsynligheten er større for tilstedeværelse enn for fravær av sukkertare, dvs. en terskelverdi på 50 % sannsynlighet. Arealmålene

som presenteres er beregnet på bakgrunn av denne verdien.



Figur 2. Prediksjonskart for sannsynlighet for utbredelse av sukkertare, gitt naturtilstand. Fargeskalaen fra blå (lav) via grønn og gul til rød (høy) viser beregnet sannsynlighet for å finne arten. Ingen av områdene hadde høyere enn 0,8 sannsynlighet for sukkertare (oransje). Innfelt bilde viser deler av Gulen kommune i Sogn og Fjordane som eksempel på kart med høyere detaljnivå. Studieområdet inkluderer dyp og eksponeringer som strekker seg ut over det som er naturlig for sukkertare, derfor vil det meste av studieområdet ha lav sannsynlighet for sukkertare og gi kartet et generelt blått preg.

Beregnet areal av sukkertarens naturlige utbredelse

Det totale arealet for sukkertarens naturlige utbredelse i studieområdet ble beregnet til 683 km². For naturindeksen er det relevant å beregne regionsvise, fylkesvise og kommunevise arealer for sukkertare. For Skagerrak og Nordsjøen beregnet vi henholdsvis 109 km² og 413 km² sukkertareskog. For den delen av Norskehavet som var inkludert i studieområdet beregnet vi et

areal på 161 km². Fylkes- og kommunevise beregninger finnes i Gundersen m.fl. (2012). Våre prediksjoner er gode (AUC>0,9, dvs. modellen fanger opp informasjonen i valideringspunktene), og antyder at forklaringsvariablene våre klarer å beregne utbredelse av sukkertare rimelig godt.

De beregnede arealene i Skagerrak er noe større, men fremdeles i samme størrelsesorden som estimatet beregnet i sukkertareprosjektet som var på ca. 72 km² (Moy m.fl. 2009). Derimot er estimatene noe mindre enn beregninger NIVA gjorde i forbindelse med en utredning om potensielt CO₂-opptak i marine naturtyper (Gundersen m.fl. 2011b) hvor det ble estimert henholdsvis 150 km², 979 km² og 893 km² i Skagerrak, Nordsjøen og Norskehavet. Imidlertid er nok verdiene i CO₂-rapporten noe overestimert, siden vi der ikke inkluderte substrat som forklaringsvariabel, og dermed ikke har ekskludert områder med uegnede bunnforhold.

Modelleringsarbeidet i dette utviklingsprosjektet resulterte i et detaljert sannsynlighetskart over hvor man skulle forvente å finne sukkertare. Dette kartet er i seg selv kanskje vel så nyttig som det kartet som viser skarpe grenser for antatt tilstedeværelse av arten (beregnet på bakgrunn av grensen for tilstedeværelse satt til 50 % ut fra sannsynlighetskartet). Men så lenge tilstandsdataene skal rapporteres til naturindeksen på formen «tilstede eller ikke», er referanseverdier i form av kart over arealutbredelse mer egnet til å sammenligne eventuelle endringer over tid.

Ny indikator for sukkertarens referansetilstand

I mangel på historisk materiale eller annen detaljert kunnskap om hvor sukkertaren har sitt naturlige utbredelsesområde, har tidligere referansetilstand tatt utgangspunkt i hvor og under hvilke dybde- og eksponeringsforhold vi i dag finner tette skoger av sukkertare.

Den definerte referansetilstanden for sukkertare har vært lik for hele norskekysten, for alle vann typer og vannregioner. Vi foreslår å gå bort fra dagens ordning og i stedet presentere sukkertarens status i forhold til en naturlig arealutbredelse (referansetilstand). Vi jobber videre med å

få dette kartet til å bli en del av en indikator beregnet ved hjelp av data for faktisk rapportert utbredelse. Hvordan denne indikatoren skal beregnes for å passe inn i Norsk naturindeks er et arbeid som er pågående.

Dataene som her er brukt til å predikere naturtilstand av sukkertare, er samlet over lang tid, og fanger opp både «gode» og «dårlige» år i et fluktuerende miljø. Vi skiller ikke mellom spredt og tett tareskog, og områder med spredt tareskog representerer områder hvor vi antar det kan være tareskog. Dette vil muligens overestimere arealutbredelsen av sukkertare, da dataene er uavhengig av tetthet og dermed vil inkludere også enkeltplanter. Men det vil også bufre for eventuelle variasjoner i tetthet som skyldes status og avvik fra naturtilstand, noe som gjør modellen mer robust. Områder hvor sukkertaren har vært borte i lang tid (fra før 1990) kan bidra til en underestimering av arealutbredelsen. Imidlertid dekker våre data miljøgradientene på en måte som gjør at vi mener at dette problemet er lite.

En fordel ved denne metoden er at tilstededata er enklere å framskaffe, mindre subjektivt og representerer en mer etterprøvable metode enn innsamling av semi-kvantitative mengdedata. På denne måten kan vi bruke et større datamateriale for fastsettelse av referansetilstand og dermed gi bedre prediksjoner. I tillegg gjør vi tidspunkt for prøveinnsamling mindre avgjørende (sukkertare blir ofte overgrodd med fintrådig alger og mer skrinn utover sommeren og høsten). Én potensiell ulempe ved å gå bort fra den mengdemessige indeksen og over til arealutbredelse er at man kanskje ikke så lett fanger opp begynnende tegn på redusert tilstand. Imidlertid vil en tareskog med minkende tetthet som regel også minke i utbredelse, slik at dette i de fleste tilfeller likevel vil fanges opp av den nye indikatoren.

Konklusjon

Ved bruk av statistikkverktøyet MaxEnt og tilstedeværelsesdata av sukkertare fra en periode på 22 år, mener vi at prediksjonsmodellen vi produserer faktisk representerer sukkertarens referansetilstand, det vil si hvor vi burde forvente å finne sukkertare. Vi jobber videre med å få dette

kartet til å bli en del av en indikator beregnet ved hjelp av data for faktisk rapportert utbredelse. Hvordan denne indikatoren skal beregnes for å passe inn i Norsk naturindeks er et arbeid som er pågående.

Referanser

Bekkby, T. og Moy, F. 2011. Developing spatial models of sugar kelp (*Saccharina latissima*) potential distribution under natural conditions and areas of its disappearance in Skagerrak. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 95:477-483.

Bekkby, T., Rinde, E., Erikstad, L. og Bakkestuen, V. 2009. Spatial predictive distribution modelling of the kelp species *Laminaria hyperborea*. *ICES Journal of Marine Science* 66(10): 2106-2115.

Bekkby, T., Rinde, E., Erikstad, L., Bakkestuen, V., Longva, O., Christensen, O., Isæus, M og Isachsen, P.E. 2008a. Spatial probability modelling of eelgrass *Zostera marina* L. distribution on the West coast of Norway. *ICES J. Mar. Sci.* 65: 1093-1101.

Bekkby, T., Nilsson, H., Rygg, B., Isachsen, P.E., Olsgard, F. og Isæus, M. 2008b. Identifying soft sediments at sea using GIS-modelled predictor variables and Sediment Profile Image (SPI) measured response variables. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79: 631-636.

Christie H, Norderhaug KM, og Fredriksen S. 2009. Macrophytes as habitat for fauna. *Marine Ecology Progress Series* 396: 221-233.

Elith, J., Graham, CH., Anderson, RP., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, RJ., Huettmann, F., Leathwick, JR., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, LG., Loiselle, BA., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.McC., Peterson, AT., Phillips, SJ., Richardson, KS., Scatchetti-Pereira, R., Schapire, RE., Soberón, J., Williams, S., Wisz, MS. og Zimmermann, NE. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.

Golmen, L., Kroglund T., Lømsland, E., Bjerknes, V. og Rygg, B. 2000. Stad Skipstunnel. Forprosjekt, Miljø Tema: Vassureining og Marinbiologi. NIVA-rapport 4294, ISBN 82-577-3924-3, 67 s.

Gundersen, H., Bekkby, T., Christie, H., Moy, F.E. og Tveiten, L.A. 2012. Videreutvikling av indikator for sukkertare i Norsk naturindeks – modellering av referansetilstand for arealutbredelse. NIVA rapport nr. 6438-2012. 21 s.

Gundersen, H., Christie, H., de Wit, H., Norderhaug, K., Bekkby, T. og Walday, M. 2011b. Utredning om CO₂-opptak i marine naturtyper. NIVA-rapport 6070-2010. 25 s.

- Gundersen, H., Norling, K., Bekkby, T., Oug, E., Rygg, B. og Walday, M. 2010. Naturindeks; Videreutvikling av kunnskapsgrunnlaget for bløtbunnsindikator for kystvann - Et utviklingsprosjekt under Naturtyper i Norge (DN). NIVA-rapport 6071. 32 s.
- Gundersen, H., Bekkby, T., Norling, K., Oug, E., Rygg, B. og Walday, M. 2011a. Nature Index of Norway – spatial predictive modelling of soft sediment reference conditions along the Norwegian coast. ICES CM 2011\G:08.
- Isæus, M. 2004. Factors structuring *Fucus* communities at open and complex coastlines in the Baltic Sea. Doctoral thesis at the Naturvetenskapliga Fakulteten, 165 pp. Dept. of Botany, Stockholm University. URL: www.aquabiota.se/publications/pdf/Avhandling_Isaesus.pdf.
- Jacobsen, T., Magnusson, J., Oug, E. og Næs, K. 1994. Resipientundersøkelse i Rosfjorden Vest-Agder 1992. Vannutskiftning, vannkvalitet, strandsoneregistreringer, bløtbunnfauna og miljøgifter i sedimenter. NIVA-rapport 3017, ISBN 82-577-2457-2, 50 s.
- Kroglund, T. 2000. Overvåking av resipienten til Elkem Aluminium ANS Lista 1999. NIVA-rapport 4228, ISBN 82-577-3850-6, 37 s.
- Kroglund, T. 2004. Overvåking av sjøområdet utenfor Elkem Aluminium, Lista. PAH i strandsnegl og strandsonundersøkelser 2002-2003. NIVA-rapport 4835, ISBN 82-577-4517-0, 37 s.
- Kroglund, T. 2008. Overvåking av sjøområdet utenfor Elkem Aluminium, Lista. PAH i strandsnegl og strandsonundersøkelser, 2004-2007. NIVA-rapport 48355653 ISBN 978-82-577-5388-7, 42 s.
- Kroglund, T. og Oug, E. 1999. Marine undersøkelser ved Tregde, Mandal kommune. NIVA-rapport 4144, ISBN 82-577-3756, 39 s.
- Molvær, J. og Jacobsen, T. 1996. Farsund 1995. Undersøkelser av flora og fauna i strandsonen ved Østhasselneset og Byfjorden. NIVA-rapport 3500, ISBN 82-577-3042-4, 37 s.
- Moy, F., Christie, H., Steen, H., Stålnacke, P., Aksnes, D., Alve, E., Aure, J., Bekkby, T., Fredriksen, S., Gitmark, J.K., Hackett, B., Magnusson, J., Pengerud, A., Sjøtun, K., Sørensen, K., Tveiten, L.A., Øygarden, L. og Åsen, P.A. 2009. Sluttrapport fra Sukkertareprosjektet 2005-2008. NIVA-rapport 5709. 134 s.
- Norderhaug, K., Aure, J., Falkenhaug, T., Johnsen, T., Lømsland, E., Magnusson, J., Moy, F., Omli, L., Rygg, B. og Trannum, H. 2010. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Kystovervåkingsprogrammet. Årsrapport for 2009. NIVA-rapport 5953-2010. 112 s.
- Nybø, S. 2010. Datagrunnlaget for ”Naturindeks 2010”. DN-utredning 4-2010.
- Oug, E., Jacobsen, T. og Moy, F. Overvåking av Kristiansandsfjorden 1992-93. Hardbunnorganismer og bløtbunnfauna ved Odderøya, i Vesterhavn i Korsvikfjorden. NIVA-rapport 3075, ISBN 82-577-2529-3, 56 s.
- Phillips, S.J. og Dudik, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- Phillips, S.J., Andersen, R.P og Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Soldal, E., Bekkby, T., Rinde, E., Bakkestuen, V., Erikstad, L. og Isæus, M. 2009. Predictive probability modelling of marine habitats – a case study from the West coast of Norway. S. 57-65 i Dahl, E., Moksness, E. og Støttrup, J. (red.): Integrated Coastal Zone management. Proceeding of a conference, Arendal, June 2007. Blackwell Sciences. 342 s. ISBN: 978-1-4051-3950-2.
- Trannum, H.C., Norderhaug, K.M., Naustvoll, L., Bjerkeng, B., Sørensen, K., Gitmark, J.K., Brkljacic, M. og Tveiten, L.A. 2012. Miljøovervåking av sukkertare langs kysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet Datarapport for 2011. KLIF rapport TA-2904/2012. 95 s.
- Walday, M., Gitmark, J.K., Naustvoll, L., Norling, K., Selvik, J.R. og Sørensen K. 2011. Overvåking av Ytre Oslofjord 2010 Årsrapport. NIVA-rapport 6184. 77 s.