



Videreutvikling av indikator for sukkertare i Norsk naturindeks – modellering av referansetilstand for arealutbredelse



RAPPORT

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Videreutvikling av indikator for sukkertare i Norsk naturindeks – modellering av referansetilstand for arealutbredelse	Løpenr. (for bestilling) 6438-2012	Dato 30.11.2012
	Prosjektnr. Undernr. O-11360	Sider Pris 21
Forfatter(e) Hege Gundersen, Trine Bekkby Hartvig C. Christie Frithjof E. Moy (Havforskningsinstituttet) Lise Ann Tveiten	Fagområde Biologisk mangfold - marint	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Norskekysten sør for Trøndelag	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning (DN)	Oppdragsreferanse DN-prosjektkode 12040062
--	--

<p>Sammendrag</p> <p>Gamle og nye utbredelsesdata på sukkertare (<i>Saccharina latissima</i>) fra Møre og Romsdal og ned til svenskegrensen er integrert i statistiske analyser (MaxEnt) og GIS. Resultatene er presentert i kart over referanseverdier på sukkertare, det vil si antatt utbredelse dersom området var i naturtilstand (uberørt). Kartene er gitt som sannsynlighet for tilstedeværelse og arealutbredelse av sukkertare. Resultatene har blitt tilrettelagt og kvalitetssikret for Norsk Naturindeks og gitt i form av regions-, fylkes- og kommunevise arealer. Totalt ble det estimert i underkant av 700 km² sukkertarehabitat, fordelt på Skagerrak (litt over 100 km²), Nordsjøen (litt over 400 km²) og sørlige deler av Norskehavet (ca. 160 km²).</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Naturindeks Sukkertare Arealutbredelse MaxEnt-modellering 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Nature Index <i>Saccharina latissima</i> Spatial distribution MaxEnt modelling
---	--



Hege Gundersen
Prosjektleder



Mats Walday
Forskningsleder



Kristoffer Næs
Forskningsdirektør

Videreutvikling av indikator for sukkertare i Norsk naturindeks

– modellering av referansetilstand for arealutbredelse

Forord

Denne rapporten er utarbeidet for Direktoratet for naturforvaltning (DN) under prosjektet ”Utvikling av en indikator for sukkertarens referansetilstand - arealutbredelse”. I dette utviklingsprosjektet presenterer vi arbeidet med å utvikle en indikator for referansetilstander for arealutbredelse av sukkertare i form av heldekkende modellkart for Sør-Norge og Vestlandet nord til Kristiansund ved bruk av GIS- og statistikkanalyser.

Prosjekt SaccRef har blitt gjennomført i perioden november 2011 – desember 2012. Prosjektleder har vært Trine Bekkby frem til mai 2012 og Hege Gundersen frem til prosjektslutt i desember 2012. Andre medarbeidere har vært Hartvig Christie og Lise Tveiten fra NIVA, samt Frithjof Moy fra Havforskningsinstituttet.

Resultatet fra prosjektet er tenkt å inngå i Naturindeks for Norge. Alle kart og tabeller i denne rapporten kan bli gjort tilgjengelig for DN på digitalt format (henholdsvis jpg-filer og xls-filer).

Takk til samarbeidspartnere ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Knut Simensen ved DN.

Oslo, 27.11.2012

Hege Gundersen

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
1.1 Naturindeks for Norge – Indikator “sukkertare”	7
1.2 Prosjektets formål og utførelse	7
1.3 Prediksjonsmodellering i forvaltningen	7
2. Metoder	9
2.1 Eksisterende datamateriale (1990-2011)	9
2.2 Innsamling av nye data (2012)	9
2.3 Integre arealdekkende GIS-filer	11
2.4 Statistiske analyser	11
2.4.1 MaxEnt	11
2.4.2 Beregning av naturtilstand fra «presence only» data	11
2.4.3 Modellvalidering	11
2.4.4 Fra sannsynlighetskart til arealutbredelse	12
3. Resultater	13
3.1 Datamateriale (gammelt og nytt)	13
3.2 Statistisk tolkning av modelleringsarbeidet	13
3.2.1 Fra sannsynlighetskart til arealutbredelse	13
3.2.2 AUC, sensitivitet og spesifisitet	17
3.3 Økologisk tolkning	17
4. Diskusjon	19
4.1 Beregnet referansetilstand av sukkertare	19
4.2 Indikator for sukkertare	19
5. Referanser	21

Sammendrag

Denne rapporten er utarbeidet for Direktoratet for naturforvaltning (DN) under prosjektet ”Utvikling av en indikator for sukkertarens referansetilstand - arealutbredelse”. Ved hjelp av statistiske analyser og Geografiske Informasjonssystemer (GIS) viser vi her en metode for produksjon av heldekkende (arealrepresentative) kart over referanseverdier. Dette anser vi som en stor forbedring i forhold til tidligere leveranser hvor samme referanseverdi ble brukt i alle regioner, fylker og kommuner i Norge og vi ser for oss at resultatene fra dette prosjektet kan inngå i neste leveranse til naturindeksen.

Prosjektet har bestått i å integrere alle eksisterende data på naturlig utbredelse av sukkertare, samt samle nye data i områder der vi manglet data. Dataene har blitt analysert i MaxEnt for produksjon av heldekkende sannsynlighetskart for tilstedeværelse av sukkertare som igjen har ligget til grunn for beregninger av arealutbredelse for alle fylker og kommuner fra og med Møre- og Romsdal langs kysten ned til svenskegrensen. Resultatene har blitt tilrettelagt og kvalitetssikret for naturindeksen.

Valideringen av modellene på et uavhengig datamateriale viste en relativt god prediksjonsevne. Totalt estimerte vi i underkant av 700 km² sukkertarehabitat, fordelt på Skagerrak (litt over 100 km²), Nordsjøen (litt over 400 km²) og sørlige deler av Norskehavet (160 km²). Utbredelsestimatet for Skagerrak er i noenlunde samme størrelsesorden som tidligere estimater fra samme område.

På bakgrunn av arbeidet vi har gjort i dette prosjektet vil vi sterkt anbefale å bruke samme eller lignende metodikk for utarbeidelse av referanseverdier for andre indikatorer med full geografisk og habitatspesifikk representativitet, der man har tilstrekkelig godt datamateriale.

Summary

Title: Development of an indicator for sugar kelp (*Saccharina latissima*) for the Norwegian Nature Index – modeling reference condition for area distribution

Year: 2012

Author: Hege Gundersen, Trine Bekkby, Hartvig C. Christie, Frithjof E. Moy and Lise A. Tveiten

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No. 978-82-577-6173-8

This report was prepared for the Directorate for Nature Management (DN) under the project "Development of an indicator for sugar kelp reference condition – area distribution". Using statistical analysis and Geographic Information Systems (GIS) we show here a method for the production of full coverage (area representative) map of reference values. We consider this as an improvement over previous deliveries where the same reference value was used in all regions, counties and municipalities in Norway and we recommend that the results of this project may be included in the next delivery to the Nature Index of Norway.

The project has consisted in integrating all existing data on natural distribution of sugar kelp and collect new data in areas where we lacked data. The data have been analyzed in MaxEnt for the production of full coverage probability maps for the presence of sugar kelp which has been the basis for calculations of area coverage for all counties and municipalities from Møre- and Romsdal along the coast down to the Swedish border. The results have been prepared for the Nature Index of Norway.

Validation of the model on an independent data set showed a relatively good predictive ability. Overall, we estimated almost 700 km² sugar kelp habitat, spread over Skagerrak (ca. 100 km²), the North Sea (ca. 400 km²) and the southern part of the Norwegian Sea (ca. 160 km²). The estimates for Skagerrak are of approximately the same range as previous estimates from this area.

Based on the present work we recommend using the same or similar methodology for reference values of other indicators with full geographic and habitat-specific representativeness, where there is sufficient good data.

1. Innledning

1.1 Naturindeks for Norge – Indikator “sukkertare”

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.

Sukkertare (*Saccharina latissima*) har sitt naturlige utbredelsesområde i bølgebeskyttede fjorder og skjærgårdsområder langs hele Norskekysten. Denne brunalgen blir opp til 3 meter lang og vokser 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). Sukkertaren ble rødlistet i 2006 (Kålås m.fl. 2006) med kategorien «nær truet» på grunn av tilbakegang i Sør-Norge i perioden etter 1990, men har siden 2010 vært kategorisert som «livskraftig» siden man har kunnet dokumentere en viss økning de siste årene. Tilbakegangen etter 1990 skyldes mest sannsynlig høye sommertemperaturer, eutrofipåvirkning og økt partikkeltilførsel fra land (Moy m.fl. 2009). Også i enkelte områder innerst i fjorder på Vestlandet og i Nord-Norge har tareskogen, også sukkertare, mest sannsynlig forsvunnet på grunn av nedbeiting fra kråkeboller.

Indikatoren «Sukkertare» sorterer under økosystem «kystvann-bunn» i naturindeksen. Tilstand for sukkertare har blitt rapportert i form av en 5-skali indeks som beskriver tilstanden som 0) fraværende, 1) sjelden, 2) spredt, 3) vanlig tilstede eller 4) skogdannende. Referanseverdi har blitt satt til 3,5 som tilsvarer god bestand med stedvis skogdannende forekomster. Flere detaljer om hvordan indikatoren for sukkertare er beregnet finnes i Datagrunnlaget for Naturindeks 2010 (Oug og Eikrem 2010). I beregningen av naturindeksen er sukkertare vektet på grunn av dens viktige nøkkelrolle som habitat for en rekke arter. Utviklingen av sukkertare har i naturindeksen blitt rapportert ved data for de områdene hvor det er foretatt undersøkelser, det vil si alle fylker opp til og med Møre- og Romsdal.

1.2 Prosjektets formål og utførelse

Målet med prosjektet er å utvikle en indikator for referansetilstander for arealutbredelse av sukkertare i form av heldekkende modellkart for Sør-Norge og Vestlandet nord til Kristiansund. Prosjektet som beskrives vil kunne danne grunnlag for videre arbeid med å utvikle en indikator for avvik fra referansetilstanden. Arbeidet med utviklingsprosjektet har bestått av mange ulike delaktiviteter. I 2011 bestod arbeidet i å integrere alle eksisterende data på naturlig utbredelse av sukkertare, samt integrere arealdekkende GIS-filer med relevante forklaringsvariable. I 2012 har arbeidet bestått i å lage feltdesign, utføre feltarbeid, statistiske analyser, prediksjonsmodellering, validering, produksjon av kart, beregning av kommune- og fylkesvise arealer, samt rapportering. Resultatene har deretter blitt tilrettelagt og kvalitetssikret for naturindeksen. Budsjettet har vært på henholdsvis 300.000 og 600.000 NOK for 2011 og 2012.

1.3 Prediksjonsmodellering i forvaltningen

Prediksjonsmodeller for naturtyper har vist seg å være et svært nyttig og kostnadseffektivt supplement og alternativ ved kartlegging og overvåking av arter, habitater og naturtyper i norske kyst- og havområder. 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 og overvåking av marint biologisk mangfold, storskalaendringer relatert til klima og mer intensiv bruk av

kystområdene i næringsvirksomhet (blant annet økt akvakultur, oljevirksomhet og transport). Per i dag har NIVA (i samarbeid med NINA, NGU og HI) utviklet modeller som gir gode prediksjoner for blant annet utbredelse av stortare, sukkertare i Skagerrak, ålegrasenger på Møre, skjellsand og bunntype (hard- og bløtbunnsområder) for enkelte mindre områder gjennom forskningsrådsprosjekter og for utvalgte fylker innen det nasjonale programmet for kartlegging av biologisk mangfold (Bekkby m.fl. 2011). Som en del av arbeidet med naturindeksen har NIVA også modellert og kartfestet differensierte referanseverdier for indikatoren «bløtbunn artsmangfold fauna» og «bløtbunn toleranseindeks» under økosystem kystvann-bunn (Gundersen m.fl. 2010).

Bruk av prediksjonsmodeller er den beste, og i praksis den eneste, måten å få fullstendig geografisk representativitet av referansetilstand for utbredelse i områder hvor upåvirket tilstand (naturtilstand) ikke lenger finnes. Analyser som kobler sukkertarens utbredelse med viktige forklaringsvariable gjør oss i stand til å predikere referansetilstand for ulike områder av Norskekysten.

2. Metoder

2.1 Eksisterende datamateriale (1990-2011)

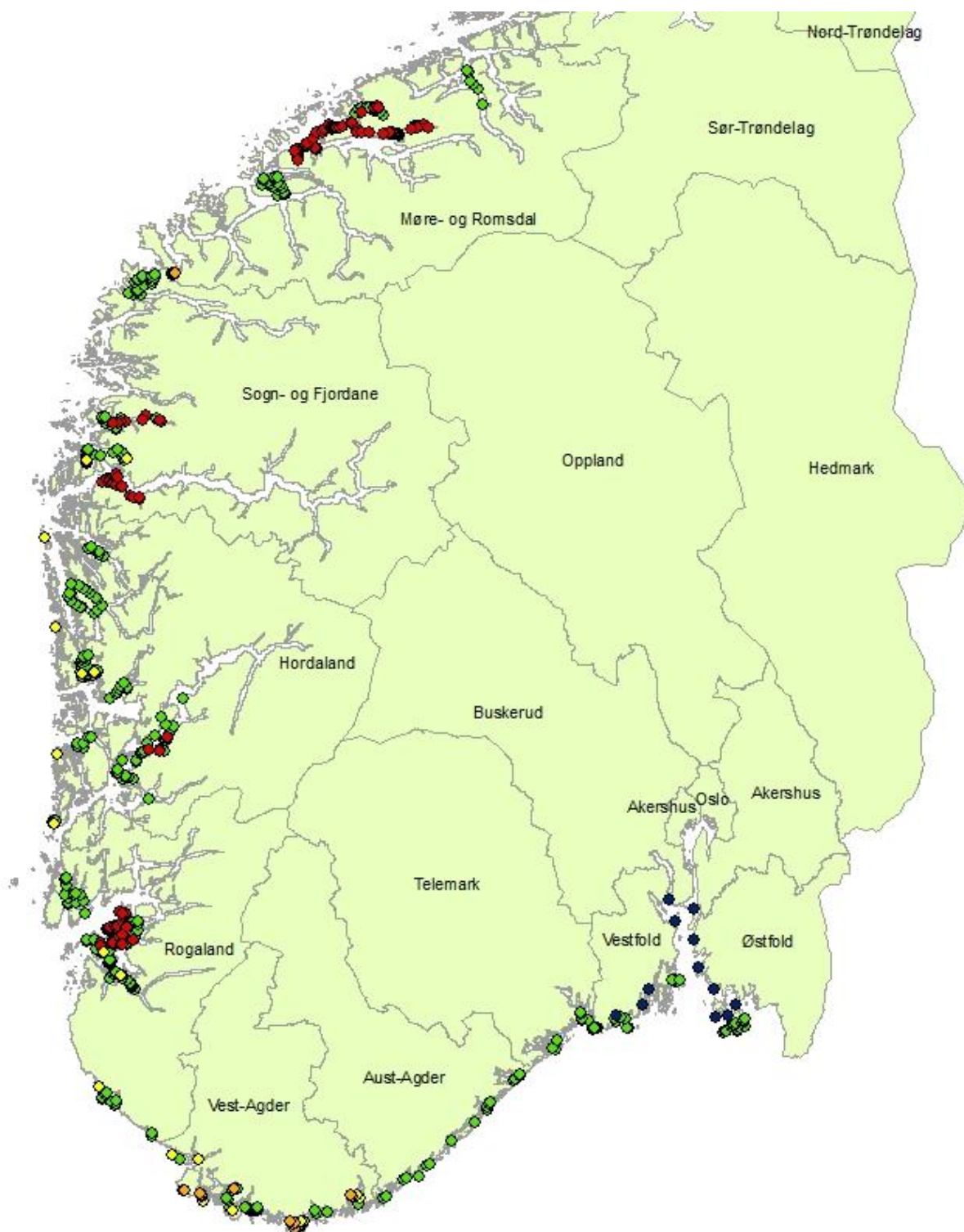
Gjennom diverse større og mindre prosjekter har NIVA akkumulert mye data på sukkertare i perioden 1990-2011. I hovedsak stammer dataene fra NIVAs sukkertareprosjekt (2003-2008, n=458, Moy m.fl. 2009), men også andre prosjekter har bidratt med data fra denne perioden: Kystovervåknings- og Sukkertareovervåkningsprosjektene (1990-2010, n=18, Norderhaug m.fl. 2010, Trannum m.fl. 2012), Ytre Oslofjordprosjektet (2007-2010, n=12, Walday m.fl. 2011) og diverse overvåknings- og resipientundersøkelser i Agder og Sogn- og Fjordane (1992-2007, n=18).

Dataene er hentet ut fra NIVAs databaser, systematisert og kvalitetssikret med hensyn på stedfesting. I mange av prosjektene har informasjon om sukkertarens tilstand blitt klassifisert i forhold til en 5-skali indeks (se kapittel 1.1), men for å kunne dra nytte av så mye som mulig av datamaterialet har vi også inkludert datapunkter som kun angir tilstedeværelse (engelsk: «presence only data»). Det samlede datamaterialet fra perioden 1990-2011 strakk seg fra svenskegrensen til Kristiansund i Møre og Romsdal. Disse stasjonene representerer altså stasjoner der man har funnet minimum enkeltplanter av sukkertare, og som dermed oppfyller kravene om å være en sukkertarestasjon. Selv om tilstanden varierer, kan altså disse dataene brukes til å definere referansetilstand, og dermed brukes i modellarbeidet.

2.2 Innsamling av nye data (2012)

Etter å ha studert de aggregerte dataene i GIS og sett hvordan observasjonene fordelte seg langs ulike miljøgradienter (dyp og eksponering) identifiserte vi områder med datahull, hvor vi ønsket å gjøre nye registreringer. Generelt var det stor mangel på data inne i fjordene, slik at feltarbeidet for 2012 fokuserte på å skaffe data fra disse områdene, nærmere bestemt områder med middels eksponering i Romsdalsfjorden, Sognefjorden og Ryfylkefjorden. I alt ble det gjort 260 registreringer av sukkertare i 2012. Metoden som ble benyttet var undervanns videokamera fra småbåt.

Etter endt feltarbeid ble alle data (gamle og nye) slått sammen til et felles datasett (Figur 1) med til sammen 766 datapunkter spredt langs hele kysten fra Østfold og Indre Oslofjord til Møre og Romsdal. Deretter ble datasettet gjort klart for analyser i MaxEnt (se kapittel 2.4).



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 under SaccRef-prosjektet i 2012 (rød).

2.3 Integrere arealdekkende GIS-filer

For å kunne utvikle en prediksjonsmodell for naturlig utbredelse av sukkertare, integrerte vi arealdekkende GIS-kart for de miljøfaktorene som gjennom statistiske analyser (Bekkby og Moy 2011) har vist seg å være relevante for sukkertarens naturlige utbredelse. Følgende variable var tilgjengelige som GIS-kart og ble brukt som forklaringsvariable i analysene: dyp, skråning, bølgeeksponering, og de to terrengvariablene bassengdyp og kurvatur. For en grundigere beskrivelse av disse variablene, og hvordan de er beregnet, se Bekkby m.fl. (2008) og, for bølgeeksponering, Isæus (2004). Alle GIS-kartene hadde en oppløsning på 25x25 meter.

2.4 Statistiske analyser

2.4.1 MaxEnt

Siden våre feltobservasjoner bestod kun av tilstedeværelse av sukkertare var det naturlig å bruke metoden MaxEnt (versjon 3.3.3k), som har vist seg å være et robust og presist verktøy i sammenligning med andre potensielle metoder (Elith m.fl. 2006). MaxEnt er en statistisk maskinlæringsteknikk som bruker tilstedeværelsesdata (engelsk: «presence only») sammen med heldekkende geofysiske GIS-lag på miljøvariable, for å estimere deres (ikke-lineære) funksjonelle relasjoner. Ingen data på mengde, kvalitet eller fravær av sukkertare trengs for denne metoden (Phillips m.fl. 2006, Phillips og Dudik 2008). Resultatet av en slik MaxEnt analyse er, enkelt forklart, et sannsynlighetskart for hvor man skulle forvente å finne egnede forhold for sukkertare gitt at området var i naturtilstand.

Det finnes mange ulike innstillinger i MaxEnt som kan forbedre modellen, vi tok utgangspunkt i standardinnstillingene, men forsøkte også ulike verdier av den såkalte regulariseringsparameteren som korrigerer for en eventuell overtilpassing (eng: «overfitting», Elith m.fl. 2011) av modellen (høye sannsynlighetsverdier i områder nær observasjonene). Vi testet parameterverdiene 1 (dvs. ingen justering), 2, 3 og 8. Vi gjorde både en multivariabel analyse hvor vi inkluderte alle mulige forklaringsvariable, samt univariabel modeller med én forklaringsvariabel av gangen. Univariabel modeller er nyttig når vi har korrelerte forklaringsvariable og ønsker å vurdere den økologiske responsen til hver individuelle forklaringsvariabel.

2.4.2 Beregning av naturtilstand fra «presence only» data

Selv om vi hadde tilgjengelig data på både sukkertarens tilstand (5-skaliig verdi) og fraværsobservasjoner av sukkertare, valgte vi kun å bruke data som bekreftet tilstedeværelse av sukkertare for modelleringen av referansetilstand. Både tilstandsverdiene og fraværsobservasjonene må vi regne med er påvirket av miljøsituasjonen da registreringen ble foretatt, slik at disse ofte vil vise dårligere tilstand/status enn hva som ville vært naturtilstand. Tilstedeværelsesdataene, derimot, er ikke preget av denne skjevheten. Dataene er i tillegg samlet over en lang tid, og fanger opp eventuelt gode år i et fluktuerende miljø. Det at vi ikke skiller på spredt og tett tareskog betyr at områder med skrinntareskog representerer områder hvor det under naturtilstand kunne vært tett tareskog. Dette er ikke nødvendigvis riktig, og vil muligens overestimere arealutbredelsen av sukkertare. På den annen side vil det muligens være områder hvor sukkertaren har vært borte i lang tid, og som vi ikke har presence data fra, som igjen kan bidra til en underestimering av arealutbredelsen.

2.4.3 Modellvalidering

For å kunne gjøre en validering av den statistiske modellen anbefales å teste prediksjonene på et uavhengig datasett (Phillips m.fl. 2006). Vårt samlede datamateriale bestod av 5 uavhengige datasett, slik at vi måtte gjøre et valg for hvilke data som skulle inngå i treningsdatasettet (for analysering) og hvilke som skulle inngå i testdatasettet (for validering). 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. Resten utgjorde testdatasettet som til sammen også hadde akseptabel geografisk dekning og utvalgsstørrelse.

2.4.4 Fra sannsynlighetskart til arealutbredelse

MaxEnt-analysene resulterer i sannsynlighetskart med verdier mellom 0 og 1 for sannsynlig utbredelse av sukkertare, gitt naturtilstand. Et slikt sannsynlighetskart kan ikke brukes direkte for å estimere arealutbredelse, derfor må vi velge en terskelverdi for høy/lav sannsynlighet for sukkertarehabitat. Det finnes verktøy for valg av en slik terskelverdi, men for beregningen trengs informasjon om fravær av sukkertare, noe vi kun har begrenset datamateriale på. Derfor må vi bruke mer subjektive vurderinger for å beregne optimal terskelverdi (Phillips m.fl. 2006). I tillegg vil vi bruke ROC-analyser for modell-evaluering (se kapittel 3.2.1).

3. Resultater

3.1 Datamateriale (gammelt og nytt)

Totalt samlet vi sukkertaredata fra 506 ulike stasjoner i tidsrommet 1990-2011 og 260 stasjoner i 2012. Disse fordelte seg på treningsdatasettet og testdatasettet med henholdsvis 458 og 308 observasjoner.

3.2 Statistisk tolkning av modelleringsarbeidet

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.

3.2.1 Fra sannsynlighetskart til arealutbredelse

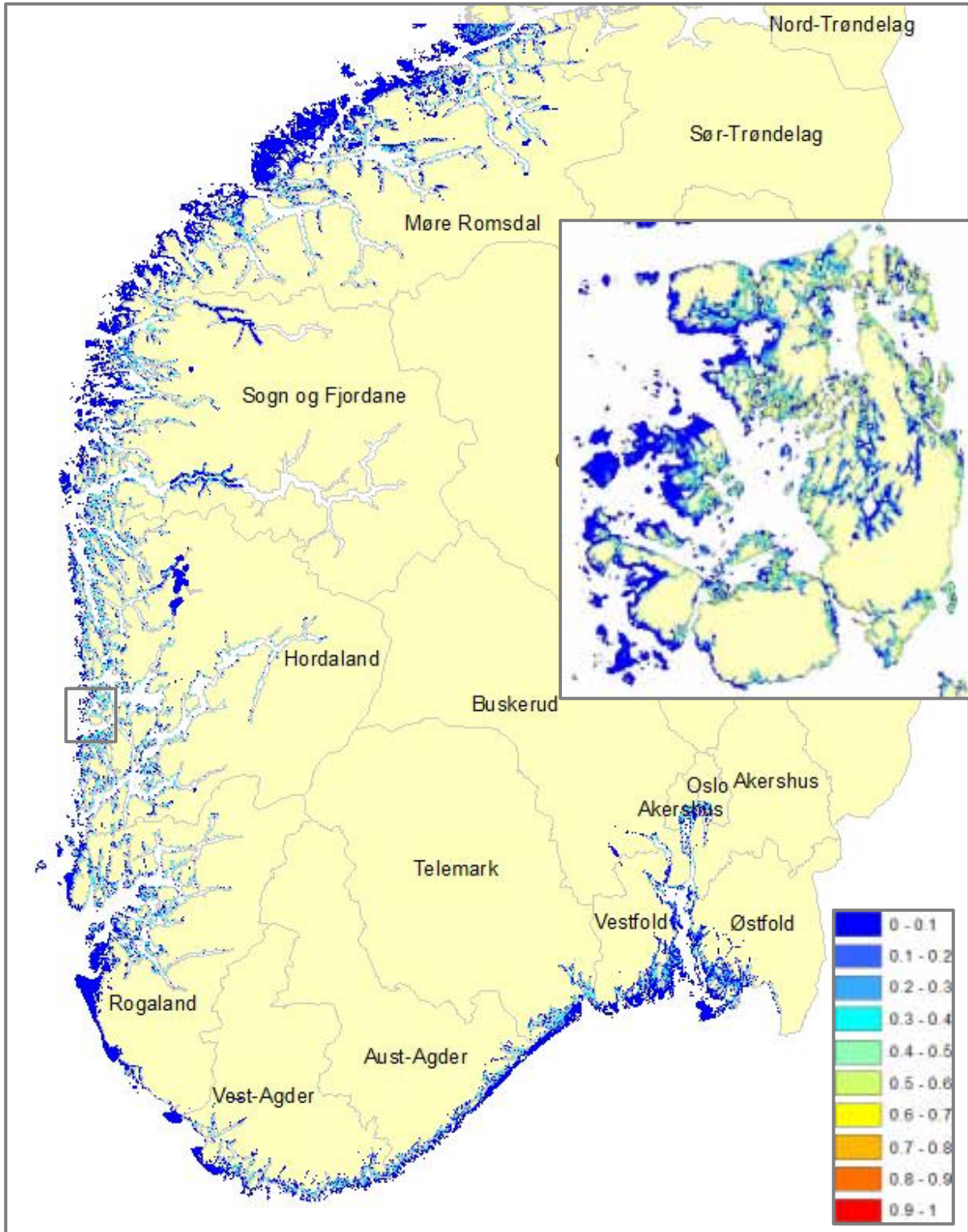
Prediksjonskartene med sannsynlighetsverdier for sukkertare er i seg selv ikke egnet for å beregne arealutbredelse av sukkertare. Siden vi ikke har mulighet til å beregne «commission rates» (stasjoner med registrert fravær predikert som tilstedeværelse), måtte vi bruke en mer subjektiv metode for å sette terskelverdi (eng: «cut-off point») for predikert fravær/tilstedeværelse av sukkertare i naturtilstand. I histogrammene i figur 3 vises kumulative arealstørrelser avhengig av hvor terskelverdien settes. Det totale sukkertarearealet minker ved økende terskelverdi. Vi må sette terskelverdien et sted mellom ytterpunktene og fant det naturlig å sette grensen på 0,5 (dvs. 50 %). Dette innebærer at vi predikerer sukkertarehabitat i alle områder der sannsynligheten er større for tilstedeværelse enn for fravær av sukkertare.

Med en terskelverdi på 50 % blir det totale arealet for sukkertareutbredelse i naturtilstand i studieområdet 683 km², det vil si ca. 7 % av området er estimert som sukkertarehabitat (Figur 3). For naturindeksen er det relevant å beregne regionsvise, fylkesvise og kommunevise areal for sukkertarehabitat. Skagerrak og Nordsjøen fikk estimert henholdsvis 109 og 413 km² sukkertarehabitat. Resten av arealet (161 km²) var innenfor den sørlige delen av Norskehavet som var inkludert i studieområdet. Fylkes- og kommunevise beregninger er vist i tabell 1 og 2.

Tabell 1. Fylkesvise arealer (km²) for estimert sukkertarehabitat beregnet ved en terskelverdi på 50 % (det vil si at sannsynligheten er større for tilstedeværelse enn for fravær av sukkertare).

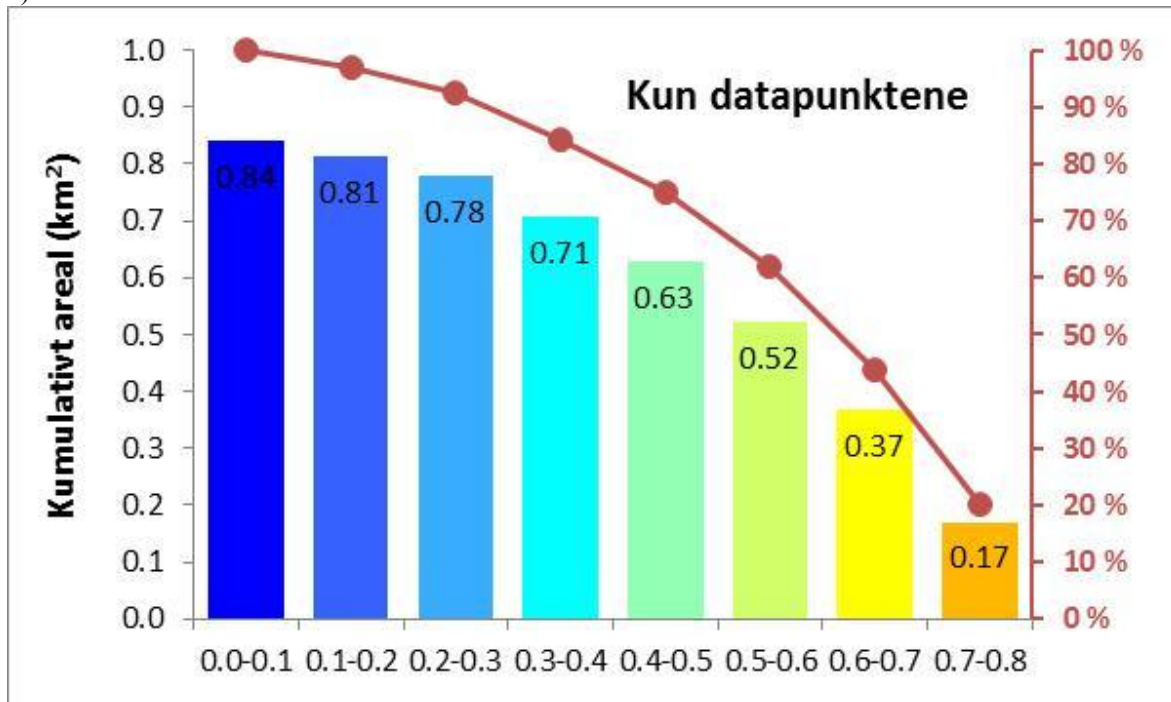
Fylke	Areal (km ²)
Møre og Romsdal	159
Sogn og Fjordane	105
Hordaland	200
Rogaland	93
Vest-Agder	37
Buskerud	6
Akershus	11
Telemark	18
Oslo	2
Aust-Agder	19
Østfold	15
Vestfold	18
Totalt	683

* En liten del av nordlige Møre og Romsdal var ikke inkludert i studien, derfor er den faktiske verdien for dette fylket noe større enn angitt.

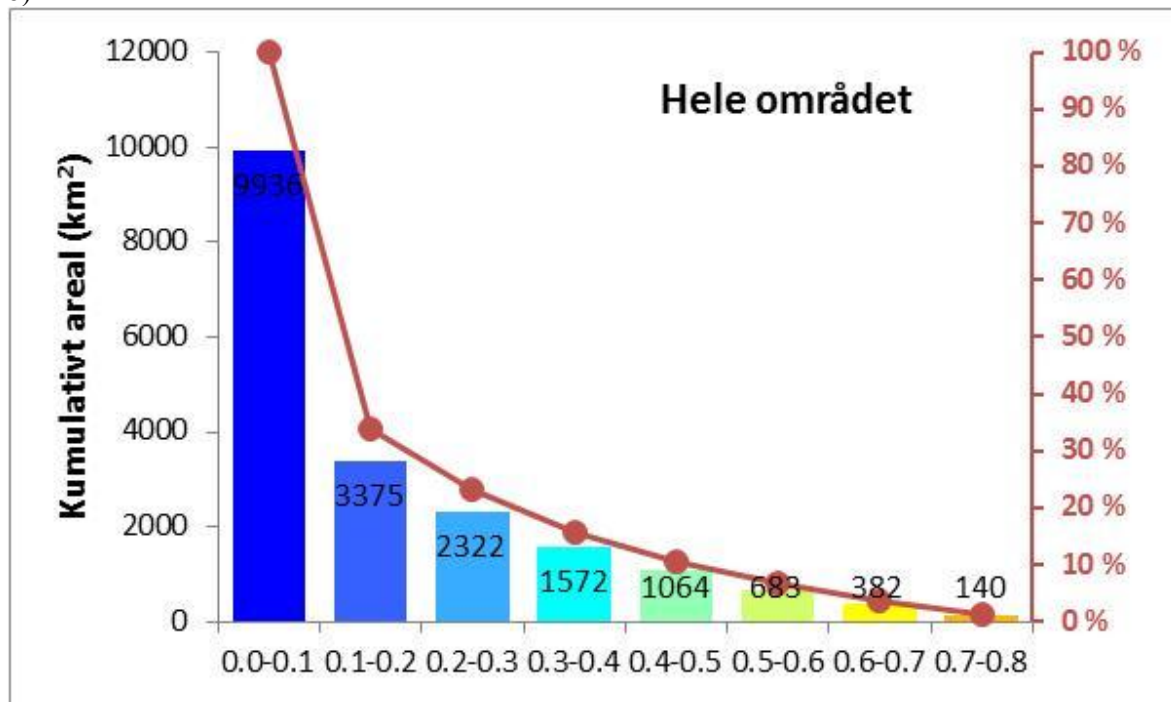


Figur 2. Prediksjonskart for sannsynlighet for utbredelse av sukkertare, gitt naturtilstand. Fargeskalaen fra blå (lav) via grønn og gul til rød (høy) viser beregnet sannsynlighet for å finne arten. Innfelt bilde viser Austevoll kommune i Hordaland som eksempel på kart med høyere detaljnivå. Studieområdet 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.

a)



b)



Figur 3. Kumulative arealstørrelser (søyler) og prosentvis inkludering (brun kurve) avhengig av hvor terskelverdien settes for inkludering/ekskludering av celler i beregningen av sukkertarehabitat. Kurvene er basert på a) alle datapunktene som inngikk i analysene, det vil si bekreftede tilstedeværelser (arealet i dette tilfelle tilsvarer kun de 25x25 meter kartcellene som datapunktene representerer) og b) alle kartcellene i hele studieområdet. Fargene i søylene gjenspeiler fargene i prediksjonskartet i figur 2.

Tabell 2. Kommunevise arealer (km²) for estimert sukkertarehabitat beregnet ved en terskelverdi på 50 % (det vil si at sannsynligheten er større for tilstedeværelse enn for fravær av sukkertare).

Kommune	Areal (km ²)	Kommune	Areal (km ²)	Kommune	Areal (km ²)
Arendal	3,1	Holmestrand	0,4	Sandefjord	2,3
Asker	1,7	Horten	0,9	Sandnes	4,6
Askvoll	10,2	Hurum	3,1	Sandøy	0,1
Askøy	9,8	Hvaler	6,7	Sarpsborg	0,9
Aukra	3,7	Hyllestad	6,0	Sauda	1,3
Aure	17,2	Høyanger	1,8	Selje	3,3
Austevoll	14,9	Hå	0,1	Skien	0,4
Austrheim	8,6	Jondal	2,5	Skodje	3,3
Averøy	5,0	Karmøy	7,8	Smøla	5,7
Balestrand	0,0	Klepp	0,0	Sokndal	0,4
Bamble	3,6	Kragerø	9,8	Sola	0,4
Bergen	7,6	Kristiansand	6,8	Solund	15,0
Bokn	4,6	Kristiansund	4,0	Stavanger	4,5
Bremanger	9,8	Kvam	5,0	Stokke	0,6
Bærum	1,3	Kvinesdal	0,9	Stord	4,7
Bømlo	15,5	Kvinnherad	20,7	Stordal	1,3
Drammen	0,5	Kvitsøy	1,6	Strand	5,6
Eid	0,2	Larvik	3,5	Stranda	4,9
Eide	1,3	Lier	0,3	Sula	2,2
Eidfjord	1,4	Lillesand	4,1	Suldal	11,7
Eigersund	0,8	Lindesnes	3,0	Sund	4,8
Etne	4,9	Lindås	10,8	Sunndal	4,9
Farsund	6,3	Lyngdal	3,7	Surnadal	5,3
Fedje	0,7	Mandal	6,1	Sveio	6,7
Finnøy	12,5	Masfjorden	6,7	Svelvik	0,9
Fitjar	9,0	Meland	3,3	Sykkylven	2,8
Fjaler	4,1	Midsund	5,4	Søgne	6,7
Fjell	9,1	Modalen	0,0	Tingvoll	8,5
Flekkefjord	3,9	Molde	8,5	Tjøme	2,7
Flora	24,8	Moss	1,3	Tvedestrand	4,2
Forsand	4,2	Naustdal	2,6	Tysnes	11,1
Fredrikstad	3,9	Nesodden	2,7	Tysvær	10,5
Frogn	3,1	Neset	5,1	Tønsberg	0,5
Fræna	3,0	Norrdal	2,8	Ullensvang	6,5
Fusa	6,0	Nøtterøy	4,1	Ulstein	3,3
Førde	1,6	Odda	1,0	Ulvik	1,9
Gaular	0,5	Oppegård	0,6	Utsira	0,0
Giske	0,7	Os	5,8	Vaksdal	0,7
Gjemnes	5,8	Oslo	1,8	Vanylven	4,6
Gjesdal	0,8	Osterøy	3,7	Vestby	1,1
Gloppen	0,0	Porsgrunn	4,5	Vestnes	3,4
Granvin	1,0	Radøy	7,3	Vik	0,0
Grimstad	2,8	Randaberg	0,3	Vindafjord	8,8
Gulen	21,0	Rauma	6,2	Volda	6,5
Halden	0,9	Re	0,6	Vågsøy	4,6
Halsa	5,2	Rennesøy	3,1	Ørskog	1,2
Haram	5,8	Risør	4,3	Ørsta	7,1
Hareid	1,4	Rygge	0,7	Øygarden	6,4
Haugesund	0,8	Røyken	2,1	Ålesund	7,4
Hemne	0,8	Råde	0,2	Ås	0,1
Herøy	3,6	Samnanger	2,0		
Hjelmeland	8,2	Sande	3,2		
Totalt					683 km²

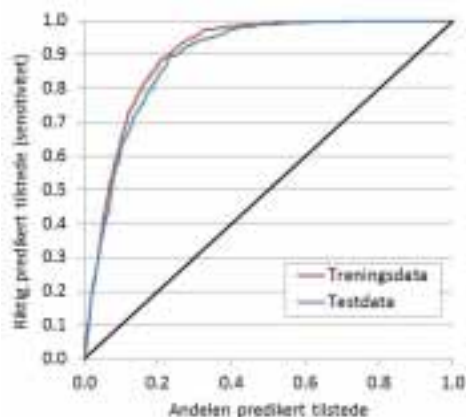
3.2.2 AUC, sensitivitet og spesifisitet

En modells prediksjonsevne kan karakteriseres ved hjelp av beregninger av sensitivitet, spesifisitet og AUC-verdier. Sensitivitet er evnen til å predikere riktig tilstedeværelse, dvs. i hvilken grad modellen predikerer tilstedeværelse når dette er riktig. Spesifisitet er evnen til å predikere riktig fravær, dvs. i hvilken grad modellen unnlater å predikere falske tilstedeværelser (Stokland m.fl. 2008). Siden vi i vår studie ikke har informasjon om fravær av sukkertare, beregner vi spesifisiteten basert på det totale studieområdet i stedet for fraværsobservasjoner (Phillips m.fl. 2006).

For å forstå AUC-verdien er det nyttig å se på ROC ("Receiver operating characteristic") kurven for modellen (Figur 4). Arealet under kurven (AUC = "area under curve") i figur 4 utgjøres av observasjonene som er riktig predikert. En god modell vil minimere begge feilkilder, dvs. ha høy sensitivitet og høy spesifisitet (eller lave verdier for 1-spesifisitet). Da vil kurven skyves opp mot øvre venstre hjørne og AUC-verdien vil nærme seg 1. Den diagonale linjen i figur 4 viser en tilfeldig klassifisering av tilstedeværelse og fravær. En slik modell får en AUC-verdi lik 0,5.

Våre prediksjoner er testet mot både treningsdata og testdata, og gir oss en AUC-verdi for hver av testene (henholdsvis rød og blå kurve i figur 4). Valideringen på både treningsdata (AUC=0,911) og testdata (AUC=0,903) er begge gode, og gir indikasjon om at forklaringsvariablene våre klarer å predikere arealutbredelse av sukkertare rimelig godt. Den røde kurven vil typisk ligge over den blå siden den er basert på dataene som inngår i modellen, mens den blå er basert på uavhengige data. Det er den blå kurven som er den virkelige testen på modellens prediksjonsevne.

Regulariseringsparameteren skal kunne justere for overtilpassing (Elith m.fl. 2011), hvis man får uforholdsmessige høye sannsynligheter rundt observasjonene. I våre prediksjonskart så det ikke ut til at dette var tilfelle, og justering av regulariseringsparameteren resulterte heller ikke i forbedrede modeller (lavere AUC for både trenings- og testdata), derfor beholdt vi modellen uten justeringer, det vil si regulariseringsparameteren ble holdt på 1.



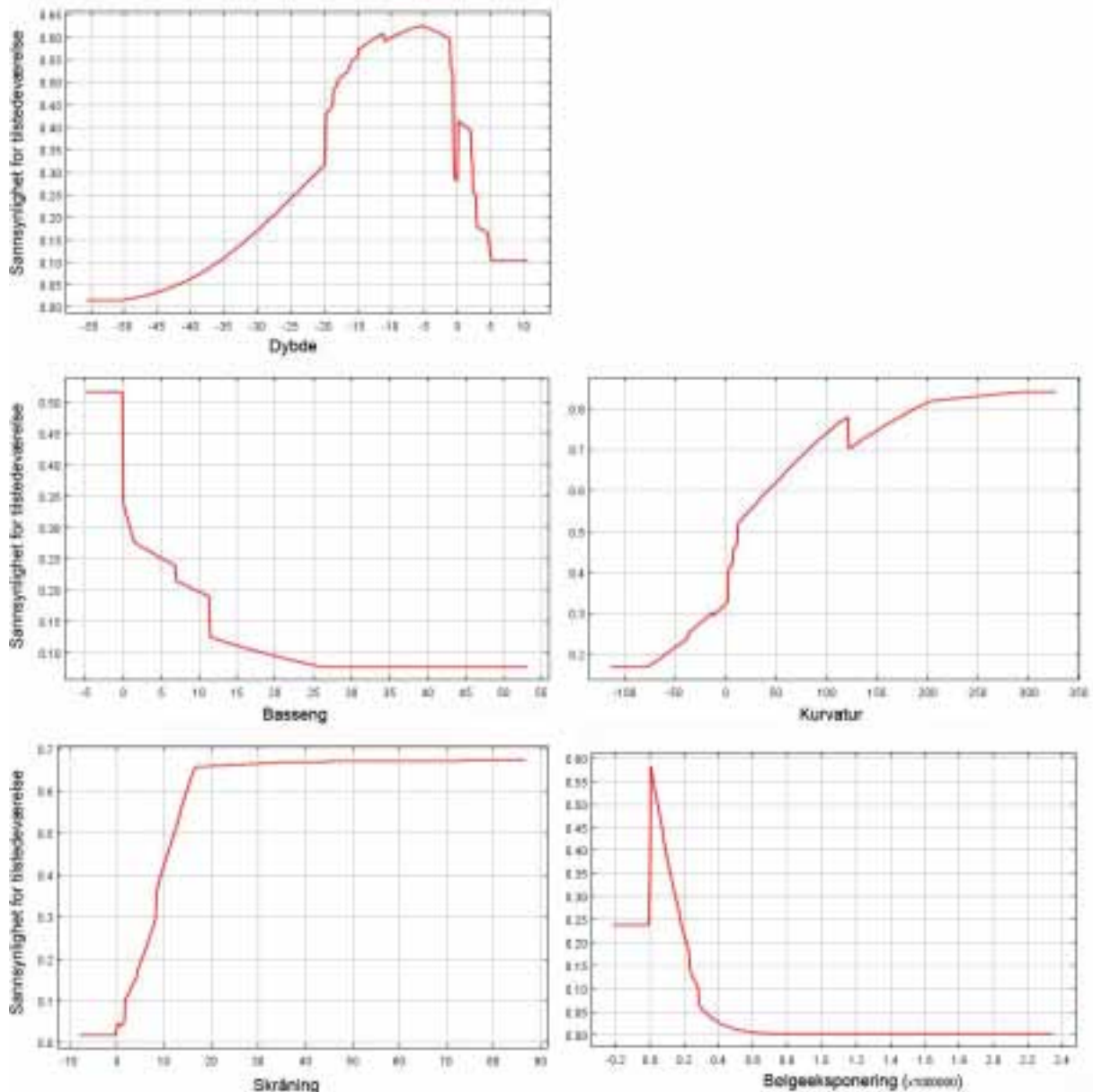
Figur 4. ROC ("Receiver operating characteristic") kurve som viser hvordan sensitivitet og spesifisitet (dvs. egentlig andelen predikert til stede) varierer som en funksjon av terskelen. AUC-verdien tilsvarende arealet under kurven og integrerer dermed de to egenskapene over alle terskelverdier. Den røde kurven viser valideringen av observasjonene på treningsdataene (AUC=0,911), mens den blå viser valideringen på testdataene (AUC=0,903). Den diagonale linjen viser linjen man skulle forvente ved tilfeldig fordeling (AUC=0,5).

3.3 Økologisk tolkning

En økologisk tolkning er ikke den primære hensikten i denne studien, så vi kommenterer kun kort effekten av hver enkelt forklaringsvariabel. Skråning (eng: «slope») var den viktigste variabelen med 43,3 % bidrag til modellen (Tabell 3). Deretter følger bølgeeksponering med 29,0 % og dybde med 19,1 % og til slutt kurvatur og bassengdybde med henholdsvis 7,3 og 1,3 % bidrag til modellen. Høyest sannsynlighet for sukkertare finner vi i grunne områder ned til ca. 20 meter hvor det brått avtar mot større dyp (Figur 5). Høye verdier av skråning er en indikator på hardbunns-substrat, og øker sukkertaresannsynligheten. Det samme gjør lave bassengverdier og høye kurvaturverdier. Det er kjent at sukkertare lever i lavt og middels eksponerte områder – dette gjenspeiles også i sannsynlighetskurven for bølgeeksponering i dette studiet (Figur 5).

Tabell 3. Prosentvis bidrag fra alle fem forklaringsvariable inkludert i modellen.

Variable	Prosentvis bidrag til modellen
Skråning	43,3
Bølgeeksponering	29,0
Dybde	19,1
Kurvatur	7,3
Bassengdybde	1,3



Figur 5. Sannsynlighetskurver for sukkertare basert på de 5 forklaringsvariablene som inngikk i MaxEnt-analysene. Den «hakkete» formen på responskurvene skyldes at det ligger en maskinlæringsalgoritme til grunn og ikke de mer vanlige regresjonsbaserte metodene. Kurvene er basert på univariable modeller, men var svært like de marginale kurvene fra den multivariable modellen, noe som er en indikasjon på at variablene i liten grad er korrelerte. I figurene vises også prediksjoner som strekker seg ut over den faktiske spennvidden (eng: «range») i forklaringsvariablene. Dette er grunnen til de spesielle kurvene ved f.eks. dybdeverdier > 0 og bølgeeksponeringsverdier < 0 .

4. Diskusjon

4.1 Beregnet referansetilstand av sukkertare

Vi beregnet et sukkertareareal på 683 km² i området fra og med Møre- og Romsdal langs kysten til svenskegrensen. Dette arealet fordelte seg på økoregionene med 109 km² i Skagerrak og 413 km² i Nordsjøen. Resten av arealet (161 km²) var innenfor den sørlige delen av Norskehavet (kun en liten del av Norskehavet var inkludert i studieområdet). 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. 2011) hvor det ble estimert henholdsvis 150, 979 og 893 km² i Skagerrak, Nordsjøen og Norskehavet. Imidlertid er nok verdiene i CO₂-rapporten noe overestimert, siden vi der ikke inkluderte substrat (eller proxy for sådan) som forklaringsvariabel i analysene.

Modelleringsarbeidet i dette utviklingsprosjektet resulterte i et detaljert sannsynlighetskart over hvor man skulle forvente å finne sukkertare, gitt naturtilstand. Dette kartet er i seg selv kanskje vel så nyttig som det avledede polygonkartet som viser skarpe grenser for antatt tilstedeværelse og fravær av arten, men så lenge tilstandsdataene som skal rapporteres til naturindeksen er på formen «tilstede eller ikke», er referanseverdier i form av tilstedeværelse (evt. arealutbredelse) mer egnet for sammenligninger.

Et aktuelt problem i denne sammenheng er hvordan punktobservasjoner skal håndteres i naturindeksen slik at de representerer noe mer enn akkurat den cellen de er målt i. Vi etterlyser herved noen retningslinjer for hvordan slike data kan/bør håndteres i statusrapporteringen i naturindeksen.

4.2 Indikator for sukkertare

I mangel på historisk materiale eller annen detaljert kunnskap om hvor sukkertaren har sitt naturlige utbredelsesområde, har tidligere referansetilstand for sukkertare delvis vært basert på ekspertkunnskap og såkalte regelbaserte modeller. Disse modellene har tatt utgangspunkt i hvor og under hvilke dybde- og eksponeringsforhold vi i dag finner tette skoger av sukkertare.

Referansetilstand for sukkertare har til nå vært angitt som én verdi, nemlig 3,5, som tilsvarer god bestand med stedvis skogdannende forekomster. Denne verdien har vært gjeldende for hele norskekysten, for alle vanntyper og vannregioner. Ved innlegging i naturindeksen ble det beregnet fylkesmiddelverdier for fylkene fra Telemark til Hordaland basert på alle lokaliteter med undersøkelser, med unntak for indre fjorder i Rogaland og Hordaland. I Østfold, Vestfold, Sogn og Fjordane og Møre og Romsdal ble det laget middelverdier for kommunegrupper nær undersøkelsesområdene.

Med dette utviklingsprosjektet foreslår vi å gå bort fra dagens beregning av sukkertareindikator på en skala fra 0-5 og foreslår i stedet å presentere sukkertarestatus i form av arealutbredelse. Fordeler ved denne metoden er at:

1. vi kan bruke tilstedeværelsesdata som er enklere å framskaffe enn den 5-skalige indikatoren
2. vi kan bruke et større datamateriale for fastsettelse av naturtilstand og dermed gi bedre prediksjoner
3. gjør tidspunkt for prøveinnsamling mindre avgjørende (sukkertare blir ofte overgrodd med fintrådig alg utover sommeren og høsten – noe som påvirker kvalitetsmålet)

Én ulempe ved å gå bort fra den fem-skalige indeksen og over til arealutbredelse er at man muligens ikke så lett fanger opp begynnende tegn på redusert tilstand. En tareskog med minkende tetthet, men

samme areal som før vil ikke bli registrert med redusert tilstand før den i tillegg har redusert utbredelse.

Ved bruk av statistikkverktøyet MaxEnt og tilstedeværelsesdata av sukkertare fra en periode på 22 år, mener vi å kunne forsvare at prediksjonsmodellen vi produserer faktisk representerer sukkertarens referansetilstand, det vil si hvor vi burde forvente å finne sukkertare, gitt naturtilstand.

I NIVAs datamateriale finnes også mange observasjoner på fravær av sukkertare som potensielt kunne inngått i modelleringen, men disse dataene representerer ikke bare områder som ikke er egnet for sukkertare, men også områder hvor det burde vært sukkertare, gitt naturtilstand, og ville resultert i en modell for dagens utbredelse av sukkertare i stedet for potensiell utbredelse av sukkertare.

Dersom det er ønskelig å ta i bruk denne nye indikatoren for sukkertare vil de beregnede arealene for referansetilstand for sukkertare rapporteres til naturindeksen i neste periode (2013). Vi har i dette prosjektet produsert heldekkende kart over naturlig arealutbredelse (referansetilstand) av sukkertare, men siden naturindeksen etterspør referanseverdier på fylkes- og kommunenivå har vi beregnet arealer for utbredelse for alle fylker og kommuner som inngikk i studien. Det er også mulig å dele opp arealutbredelseskartet i andre geografiske enheter, for eksempel vannregioner, vannområder eller vannforekomster.

5. 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., Bodvin, T., Bøe, R., Moy, F., Olsen, H. og Rinde, E. 2011. Nasjonalt program for kartlegging og overvåking av biologisk mangfold - marint. Sluttrapport for perioden 2007-2010. NIVA rapport nr. 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-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. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 396: 221-233.
- Oug, E. og Eikrem, W. 2010. Karplanter og alger. I: Nybø, s. (red.) 2010. Datagrunnlaget for "Naturindeks 2010". DN-utredning 4-2010.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudik, M., Chee, Y.E. og Yates, C.J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for Ecologists. *Divers. Distrib.* 17: 43-57.
- 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., Scachetti-Pereira, R., Schapire, RE., Soberón, J., Williams, S., Wisz, MS. and Zimmermann, NE. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Gundersen, H., Christie, H., de Wit, H., Norderhaug, K., Bekkby, T. og Walday, M. 2011. Utredning om CO₂-opptak i marine naturtyper. NIVA-rapport nr. 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 nr. 6071. 32 s.
- Isæus, M. 2004. Factors structuring *Fucus* communities at open and complex coastlines in the Baltic Sea. Doctoral thesis at the Naturvetenskapeliga Fakulteten, 165 pp. Dept. of Botany, Stockholm University. URL: http://www.aquabiota.se/publications/pdf/Avhandling_Isaeus.pdf.
- Kålås, JA., Viken, Å. og Bakken, T. (red.). 2006. Norsk Rødliste 2006, Artsdatabanken, Norway.
- 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, PA. 2009. Sluttrapport fra Sukkertareprosjektet 2005-2008. NIVA rapport nr. 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 nr. 5953-2010. 112 s.
- Nybø, S. 2010. Datagrunnlaget for "Naturindeks 2010". DN-utredning 4-2010.
- 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. *Ecol. Model.* 190: 231-259.
- Stokland, JN., Bakkestuen, V., Bekkby, T., Rinde, E., Skarpaas, O., Thygeson, AS., Yoccoz, NG. Og Halvorsen, R. 2008. Prediksjonsmodeller som verktøy for kartlegging, overvåking og forvaltning av biologisk mangfold – anvendelse, utviklingspotensial og utfordringer. *Naturhistorisk museum (Oslo) Rapport 1*: 1-72.
- Trannum, HC., Norderhaug, KM., Naustvoll, L., Bjerkeng, B., Sørensen, K., Gitmark, JK., Brkljacic, M. og Tveiten, L. 2012. Miljøovervåking av sukkertare langs kysten. Sukkertareovervåkingsprogrammet Datarapport for 2011. KLIF rapport TA-2904/2012. 95 s.
- Walday, M., Gitmark, J., Naustvoll, L., Norling, K., Selvik, JR og Sørensen K. 2011. Overvåking av Ytre Oslofjord 2010 Årsrapport. NIVA-rapport nr. 6184-2011. 77 s.

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