

# Stortareskog som indikator i «Naturindeks for Norge»



# 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

**NIVA Region Midt-Norge**

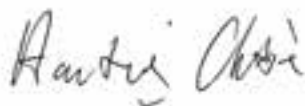
Høgskoleringen 9  
7034 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Stortareskog som indikator i «Naturindeks for Norge»	Løpenr. (for bestilling) 6609-2013	Dato 24.02.2014
	Prosjektnr. Undernr. 11413	Sider Pris 37
Forfatter(e) Christie, Hartvig Gundersen, Hege Rinde, Eli Bekkby, Trine	Fagområde Marin biologi, Marin biodiversitet	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsreferanse
---	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Det er utviklet modeller på variasjon i stortarens egenskaper langs Norskekysten ved ulike bølgeeksponeringer og dyp basert på tidligere materiale og nye data fra 24 stasjoner mellom Sørlandet og Øst-Finnmark. Ut fra kunnskaper om stortarens funksjon i økosystemet er det utviklet en indeks som baserer seg på tarens størrelse (stilk lengde), mengde påvekststørrelse, og tetthet av store planter i tareskogen. Denne indeksen og naturtilstand for taren vil variere i ulike regioner langs kysten, ved ulike dyp og bølgeeksponering. Rapporten oppsummerer tarens og tareskogens økologiske funksjon samt tareplantens vitale mål og hvordan dette varierer langs de nevnte gradienter.</p>
---

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Naturindeks</li> <li>Stortare (<i>Laminaria hyperborea</i>)</li> <li>Naturtilstand</li> <li>Økologisk funksjon</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Nature index for Norway</li> <li>Kelp</li> <li>Reference condition</li> <li>Ecological function</li> </ol>
---	--



Hartvig Christie  
Prosjektleder



Mats Walday  
Forskningsleder

**Stortareskog som indikator i  
«Naturindeks for Norge»**

## Forord

Denne rapporten presenterer resultatene fra et FoU-prosjekt for Direktoratet for naturforvaltning og Norsk naturindeks, med målsetting om å utvikle en indikator for biologisk mangfold og økologisk funksjon i stortareskog. Arbeidet har bestått av sammenstilling av eksisterende data og kunnskap, innsamling i felt for å dekke hull i datagrunnlag og statistisk modellering for å komme fram til en slik indeks. Omfanget av feltinnsamlingene og analyser har gjennom egeninnsats tilknyttet andre prosjekter blitt utvidet i forhold til opprinnelig plan, og vi presenterer kunnskap og statistiske modeller for hva som kan karakterisere naturlig tilstand for stortareskog for hele Norge. Ved å fastsette referanseverdier til disse tareparameterne og koble dem til den tidligere naturindeksen for referansetilstand for utbredelse av tareskog, foreslår vi en samlet indeks som tar hensyn til både arealutbredelse og parametere som er sentrale for tares biologiske mangfold og økologiske funksjon. I tillegg til innsatsen fra prosjektmedarbeiderne vil vi takke Janne K. Gitmark og Stein Fredriksen for dykkeassistanse i felt, noe som har gjort det mulig å gjennomføre kostbare dykkeinnsamlinger på ofte vanskelig tilgjengelige kystområder. De statistiske analysene er utført av Hege Gundersen. Utviklingen av en felles indeks er utført av Eli Rinde. Takk til Mats Walday for kvalitetssikring av rapporten.

Oslo, 24. Februar 2014

*Hartvig Christie*

---

# Innhold

	<b>1</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Prosjektets formål	10
<b>2. Materiale og metoder</b>	<b>10</b>
2.1 Tareskogen som økosystem	10
2.2 Eksisterende datamateriale (1990-2008)	14
2.3 Feltinnsamlinger 2012	15
2.4 GIS og forklaringsvariable	16
2.5 Statistiske analyser	17
<b>3. Resultater</b>	<b>17</b>
3.1 Eksisterende data på størrelse og mengde påvekstalger	17
3.2 Feltinnsamling 2012	18
3.3 Analyser av samlet datamateriale	20
<b>4. Diskusjon</b>	<b>26</b>
4.1 Generelle trender i stortarens egenskaper	26
4.2 Egenskapsverdier for stortare i naturtilstand	26
4.3 Forslag til en samlet indeks for naturtilstand til stortare	27
4.4 Vil indeksen fange opp effekten av viktige påvirkningsfaktorer for stortare?	29
<b>5. Referanser</b>	<b>30</b>
<b>6. Vedlegg 1 – Variasjon i egenskaper</b>	<b>33</b>

---

## Sammendrag

Naturindeksens indikatorverdi for stortare har til nå blitt rapportert som prosentandelen av artens/naturtypens potensielle utbredelse innen et gitt område som er antatt å ha naturtilstand. Vårt mål i dette utviklingsprosjektet har vært å utvikle en indikator for stortare som fanger opp både det biologiske mangfoldet og den økologiske funksjonen til stortare basert på tares størrelse og forekomst av funksjonelle grupper som påvekstalger og tilhørende fauna.

For å undersøke dette har vi utført en gjennomgang av tilgjengelig litteratur og kunnskap om stortaren og dens assosierte biologiske mangfold. I tillegg har vi sammenstilt eksisterende data og avdekket hvilke områder som mangler data. Viktige datamangler ble dekket gjennom nye feltinnsamlinger på flere lokaliteter fra Sørlandet til Finnmark i løpet av sommeren 2012. Vi har identifisert en rekke parametere og miljøvariable som kan være viktig for tareskogens økologiske funksjon og vurdert hvilke variable som er mest hensiktsmessig å bruke, for å få til en praktisk gjennomførbar måte å beregne stortarens diversitet og funksjon.

En indikator for stortare bør fange opp framtidige endringer og forskyvninger i vekst og utbredelse gitt endringer i viktige påvirkningsfaktorer som klima, høsting, eutrofiering eller kråkebollebeiting. Gjennomgangen av eksisterende kunnskap sammen med nye data viste at dersom vi kan estimere naturlig habitatstørrelse for stortaren (i et upåvirket miljø) og mengden av de viktige påvekstalgene i ulike økoregioner, på ulike dyp og gitt ulik grad av bølgepåvirkning, så har vi et solid grunnlag for å kunne utvikle en samlet indeks for stortarens betydning for biologisk mangfold og økologisk funksjon.

Ved å ta utgangspunkt i eksisterende (fra perioden 1990-2008) og nye (fra 2012) data og analysere ulike mål for tares størrelse og mengde påvekstalger med hensyn til de tre viktige miljøfaktorene dyp, bølgeeksponering og breddegrad, har vi vist at det er mulig å beregne gjennomsnittsverdier for disse egenskapene, samt størrelsesordenen til variasjonen. Modellene gir dermed grunnlag til å fastsette hva som er naturlig tilstand for hver enkelt egenskap gitt et områdes breddegrad, dybdeforhold og grad av bølgeeksponering. Disse naturtilstandene kan beregnes for hver av egenskapene på et detaljert romlig skalanivå (25x25 m) og kan summeres opp til et representativt gjennomsnitt på kommune, fylke eller økoregionnivå. For å forenkle indeksen foreslår vi at den skal ta utgangspunkt i tetthet av stortare, stortarens stilkengde og mengde påvekstalger, og at denne egenskapsbaserte indeksen blir vektet med arealutbredelse i forhold til referansetilstand.

Den foreslåtte indikatorverdien og dens komponenter for stortare beregnes slik:

$$\text{Stilkengdeindeks (S)} = a \times \frac{\text{stilkengde}_{\text{målt}}}{\text{stilkengde}_{\text{ref}}}$$

$$\text{Påvekstalgeindeks (P)} = b \times \frac{\text{påvekstalger}_{\text{målt}}}{\text{påvekstalger}_{\text{ref}}}$$

$$\text{Tetthetsindeks (T)} = c \times \frac{\text{tetthet}_{\text{målt}}}{\text{tetthet}_{\text{ref}}}$$

$$\text{Stortareindeks} = (S + P + T) \times \frac{\text{arealutbredelse}}{\text{arealutbredelse}_{\text{ref}}}$$

der a, b og c er vektene til hver enkelt parameter som kan settes like (i.e. 1/3), eller som kan være forskjellige i ulike økoregioner, basert på subjektive betraktninger. Summen av vektene må være lik 1.

Dette innebærer at referansetilstanden for stortarens egenskaper settes lik gjennomsnittsverdien til egenskapen  $\pm 2$  standardfeil. Gitt null avvik fra referansetilstanden for alle de inkluderte parameterne, får vi en referansetilstand som for den gamle stortareindikatoren, nemlig 100 % (Oug m.fl. 2010).

Indikatoren vil gi verdi 100 for områder som har tilstand lik referansetilstand og  $< 100$  for områder som har negativ utvikling i forhold til referansetilstand. Områder som har en positiv utvikling i forhold til referansetilstand, f.eks. på grunn av positive klimaeffekter for stortare vil få en verdi  $> 100$ . Denne positive effekten vil imidlertid ikke bli fanget opp i naturindeksen, på grunn av den såkalte LOW-modellen i naturindeksens utregninger (Pedersen m.fl. 2012a). Denne metoden gjør det mulig å vekte betydningen av hver enkelt parameter ulikt i ulike økoregioner. Tetthet kan f.eks. vektet høyere enn de to andre tareegenskaps-parameterne i Nord-Norge pga. kråkebollebeitingen og dermed gi økt betydning av tetthet i denne regionen. Metoden er også fleksibel ved at en kan inkludere ytterligere tareegenskaper om ønskelig (f. eks. forholdet mellom stilk og bladvekt) uten å endre referansetilstanden, men ved å kunne inkludere ny kunnskap til å kunne følge framtidig utvikling av stortareskogen som økosystem.

## Summary

Title: *Laminaria hyperborea* kelp forest as an indicator in «Nature index of Norway»

Year: 2014

Authors: Hartvig Christie, Hege Gundersen, Eli Rinde, and Trine Bekkby.

Source: Norwegian Institute for Water Research (NIVA), ISBN No.: ISBN 978-82-577-6344-2

The indicator value of “Naturindeks stortare” (nature index for the kelp *Laminaria hyperborea*) has so far been reported as the percentage of the species (habitats) distribution within a given area that is believed to have natural conditions. Our goal in this project was to develop an indicator for kelp that captures both the biodiversity and the ecological function of kelp based on the kelps size and the presence of functional groups such as epiphytes on the stipes and associated fauna. To investigate this, we have gone through available literature and knowledge of the kelp and its associated biodiversity. In addition, we have compiled existing data and identified which areas that lack data. Important lack of data was covered by new field sampling summer 2012.

An indicator of kelp should take into account future changes and shifts in growth and distribution given changes in key influencing factors such as climate, eutrophication and sea urchin grazing. The review of existing knowledge and data showed that if we can estimate the natural habitat size for *L. hyperborea* (in an undisturbed environment) and for the important epiphytic algae in different ecoregions, at different depths and given varying degrees of wave exposure, we will have a solid basis for developing a combined index of the kelps importance for biological diversity and ecological function.

By using existing (from the period 1990-2008) and new data (from 2012) and analysing various measures of kelp size and amount of epiphytic algae with regard to the three key factors depth, wave exposure and latitude, we have shown that it is possible to calculate average values for these properties, as well as the magnitude of variation of these for different areas along the coast. The statistical models provide the basis for determining the natural state for each property given an area's latitude, depth and degree of wave exposure. These natural conditions can be calculated for each of the properties on a detailed spatial scale level (25x25 m) and can be summed up to a representative average at municipality-, county- or ecoregion level. To simplify the index we suggest that it should be based on kelp stipe length, the amount of epiphytic algae and density of kelp, and that this attribute based index is weighted by the area of distribution in relation to the reference condition. The proposed indicator value of kelp is calculated as follows:

$L. hyperborea$  index =  $(a \cdot \text{measured stipe length} / \text{ref stipe length} + b \cdot \text{measured amount of epiphytic algae} / \text{reference amount epiphytic algae} + c \cdot \text{measured kelp density} / \text{reference kelp density}) \cdot \text{area distribution in relation to the reference condition (ref - reference} / \text{natural condition, a, b and c are the weights for each parameter which may be set to be equal (i.e. } 1/3 \text{ given three parameters), or they may be different in different ecoregions. However, the sum of weights must be equal to 1). This implies that the reference condition for } L. hyperborea \text{ properties is set equal to the average property value } \pm 2xSE \text{ (standard error). Given zero deviation from the reference condition for all the included parameters, and that the sum of the weights are equal to 1, this implies that the reference condition of the new indicator turns equal to } 1x \text{ ref. condition of kelp distribution, i.e. we get the same reference condition for the new indicator as for the old kelp indicator, } 100 \% \text{ (Oug et al. 2012).$

The indicator will be equal to 100 (or more) for areas with good conditions similar to the reference condition, and < 100 for areas that show a negative development relative to the reference condition. This method makes it possible to weight the importance of each parameter differently in different ecoregions. Density can e.g. be weighted higher than the other kelp parameters in northern Norway because of sea urchin grazing and increased importance of kelp forests in this region. The method is also flexible in that additional kelp properties can be included if needed (e.g. the ratio between stipe and leaf weight) without changing the reference condition, but by being able to incorporate new knowledge to follow the future development of large kelp forests as an ecosystem.



# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Stortare, *Laminaria hyperborea*, er sammen med sukkertare, *Saccharina latissima*, den marine planten som er mest vanlig og dominerende langs Norskekysten. Stortare finnes på kysten i Nordøst-Atlanterhavet fra Portugal og inn i Russland på sterkt og moderat bølgeeksponerte områder (Kain 1971a, Schoschina 1997), og har sin hovedutbredelse i norske farvann (Kain 1971a). Den vokser på fast underlag ved at et rotlignende festeorgan (hapter) limer den fast til fjell og stein. Stortare er avhengig av lys og vannbevegelse og finnes ned til 20-30 m dyp, avhengig av disse miljøforholdene (Kain 1971a, b, Rinde & Sjøtun 2005, Bekkby m. fl. 2009). Stortare er dominerende og skogdannende, det vil si at den danner tette skoger som er rundt 1 m høye eller mer. Den er viktig som primærprodusent og som habitatbyggende art og skaper leve- og næringsområder for andre alger og dyr. Det er særlig den opprette og tredimensjonale strukturen og den store utbredelsen som gjør at denne arten er blant de viktigste nøkkelartene i våre kystøkosystemer. I Norge har vi noen av verdens største tareforekomster og Gundersen m. fl. (2011) har modellert stortare til å kunne dekke over 5 000 km<sup>2</sup>. Sukkertareforekomstenes potensielle areal er modellert til å være av samme størrelsesorden som stortare, mens ålegras og andre tang- og tarearter til sammen er modellert til kun å dekke 200 km<sup>2</sup>.

Store deler av tareskogene er beitet ned av kråkeboller, en situasjon som har preget Midt- og Nord-Norge siden 1970-tallet. På grunn av vår lange kystlinje og de store arealene i kystsonen er kartlegging, og dermed data tilgjengelig for modellering av utbredelse av tareforekomstene, mangelfulle flere steder på kysten og de eksisterende modellene kan forbedres. Modellen til Gundersen m. fl. (2011) beregnet potensiell biomasse for stortare lik ca. 78 mill. tonn. I dag er ca. 25 % av dette antatt å være beitet ned av kråkeboller, hovedsakelig den grønne kråkebollen, *Strongylocentrotus droebachiensis*. Det er først og fremst våre tre nordligste fylker, Nordland, Troms og Finnmark som er rammet, og primært de middels eksponerte og beskyttede områdene (Norderhaug & Christie 2009, Gundersen m. fl. 2010, 2011). Gjennom "Nasjonalt program for kartlegging av biologisk mangfold – kyst" (Bekkby m. fl. 2011) og andre prosjekter som inkluderer modellering av stortarens utbredelse (NFR-, NIVA- og DN-finansierte prosjekter) har vi fått god oversikt over hvor stortare finnes, og vi har fått gode data til å modellere forventet utbredelse i områder som ikke er kartlagt i felt. Modellering av romlig utbredelse av stortare og analyser av viktige fysiske faktorer for artens utbredelse er utført av Bekkby m. fl. (2009). I Gundersen m. fl. (2010, 2011) sine beregninger av stortarebiomasse ble arealer med henholdsvis forventet forekomst av stortare, arealer med forventet nedbeitet stortareskog, og arealer med forventet gjenstående tareskog beregnet på kommune- og fylkesnivå for Nordland, Troms og Finnmark.

Stortare har vært gjenstand for en rekke undersøkelser fra 1960-tallet og utover (se Rinde og Sjøtun 2005 og referansene i denne). Viktige undersøkelser på tares utbredelse og størrelse har vært foretatt av Kain (1963, 1967, 1971a,b, 1979) og Sjøtun m. fl. (1993, 1995, 1996, 1998, 2006), mens størrelse, tetthet, biomasse, produksjon og populasjonsdynamikk er satt i sammenheng med økologisk funksjon av Abdullah & Fredriksen (2004), Christie m. fl. (1998, 2003, 2009), Norderhaug m. fl. (2002, 2003, 2005), Rinde (2007) og Pedersen m. fl. (2012b). Tareplantens funksjon er, i tillegg til primærproduksjon og eksport av næring (Krumhansl & Scheibling 2012), et viktig leveområde og næringsområde for en rekke organismer fra små evertebrater (virvelløse dyr) til større vertebrater (virveldyr, Christie m. fl. 2009), særlig som oppvekstområde for fisk (Norderhaug m. fl. 2005). De viktigste faktorene som bestemmer biologisk mangfold og antall av assosierte organismer i en tareskog er tares størrelse, alder og tetthet, samt artssammensetning, morfologi og mengde av påvekstalger på tares stilk (Christie m. fl. 1998, 2003, 2007, 2009, Rinde m. fl. 2006, Norderhaug m. fl. 2002, 2007, 2012). Tareskogens biomasse, og særlig størrelsen på tarebladet, har betydning for primærproduksjon og den mengde næring som tareskogene produserer og eksporterer til kystens økosystemer. Bladet felles årlig og med en normal dødelighet av plantene i toppskiktet per år på over 10 % (Rinde 2007) vil en stor del av den stående tarebiomassen årlig eksporteres. Denne produksjonen tilfører kysten hvert år mange millioner tonn næring. Stortare er også en

ressurs som høstes. Tare i størrelsesorden 150 000 tonn blir hvert år høstet mellom Rogaland og Trøndelag for alginatproduksjon.

Stortareskog regnes å ha høy økologisk stabilitet ("resilience"), noe som betyr at de kan opprettholde sin dominerende og skogdannende posisjon over lang tid (mange generasjoner/tiår) og at de henter seg raskt inn etter forstyrrelser, som f. eks. storm og taretråling (Christie m. fl. 1998). De store plantene, som lever i ca. 10 år, danner et tett dekke av blader og konkurrerer ut andre alger. Taren produserer et stort antall rekrutter i løpet av vinteren som kan vokse opp til nye små planter i løpet av vår- og sommersesongen. Disse små plantene er tilpasset til å kunne leve flere år i skyggen av de voksne (Sjötun m. fl. 2006, Rinde & Sjötun 2005, Pedersen m. fl. 2012b). Når en av de gamle plantene dør vil en ny stå klar og overta dennes plass og dermed bidra til å opprettholde en tett tareskog. Tareskogen som økosystem har utviklet seg slik at de fleste dyrene som holder til der lever av overskuddet av produsert næring fra taren og de beiter dermed ikke på selve tareplanten. Et mangfold av dyr på ulike trofiske nivåer sørger for en balanse slik at de som beiter direkte på taren normalt blir holdt i lave tettheter. Imidlertid ser man at det kan oppstå høye tettheter av beitedyr som kråkebolle, noe som antas å skyldes spesielle påvirkninger eller miljøendringer som fører økosystemet bort fra en naturtilstand (se Norderhaug & Christie 2009). Kråkebollebeiting er kjent fra mange steder i verden og er i de fleste tilfeller relatert til overbeskatning av viktige predatorer (Steneck m. fl. 2004, 2013, Estes m. fl. 1998, Ling m. fl. 2009).

"Naturindeks for Norge" skal gi et overblikk over utviklingen av biologisk mangfold i Norge og skal 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 "Stortare" sorterer under økosystem "kystvann-bunn" i naturindeksen. Indikatorverdien for stortare har til nå blitt rapportert som prosentandelen av artens/naturtypens potensielle utbredelse innen et gitt område som er antatt å ha naturtilstand. Det er i beregningene antatt at bølgeeksponerte områder som ikke er utsatt for taretråling, nedbeiting av kråkebolle eller eutrofiering, har naturtilstand. Naturtilstand tilsier at 100 % av dette arealet er dekket av stortare. I områder hvor tareskogen er nedbeitet (Nord-Norge) eller der det gjennomføres høsting (Nordsjøen, Møre), er det beregnet hvor stor prosentandel som er til stede i forhold til uberørte forhold. Potensiell utbredelse av stortare og nedbeitet areal er beregnet for hver av kystkommunene med en modell basert på digitale sjøkart (georeferert informasjon om dybde) og GIS-modellering. Modellen benytter ikke-biologiske faktorer som dyp og bølgeeksponering og har en romlig oppløsning på 25 x 25 m (Rinde m. fl. 2006). Feltvalidering av stortaremodellen har vist at treffprosenten er høy (70-80 %).

For å kunne fange opp andre viktige utviklingstrekk for stortareskog enn endringer i arealutbredelse, er det ønskelig å se om det er mulig å utvikle en indeks basert på tareplantenes egenskaper som uttrykk for tareskogens økologiske funksjon. En slik indikator må kunne fange opp framtidige endringer og forskyvninger i stortarens vekst og overlevelse langs kysten, gitt endringer i viktige påvirkningsfaktorer som klima, eutrofiering eller kråkebollebeiting.

I følge FNs klimarapporter vil vi få høyere temperatur langs norskekysten. Dette vil ha en positiv innflytelse på stortarevekst inntil visse terskelverdier nås i våre nordlige økoregioner, men vil kunne ha en negativ innflytelse i økoregion Skagerrak siden sommertemperaturen her av og til overstiger de kritiske 20°C for tareplanter generelt. Høyere temperatur kan føre til høy dødelighet og redusert vekst hos tareplanter (se Smale m. fl. 2013). Forflytningen av varmere vann nordover langs Vestlandet, vil føre til endringer i hovedutbredelsesområdet til stortare, og hvor vi kan forvente å finne de største plantene og den største stortareproduksjonen i framtida. Klimaendringene innebærer også hyppigere stormer i framtida, noe som med stor sannsynlighet vil medføre høyere dødelighet av store tareplanter på grunn av løsrivelse. Dette er forhold som kan fanges opp av endringer i tetthet og gjennomsnittlig alder til canopyplanter.

Eutrofiering (overgjødning) kan gi redusert vekst og overlevelse hos stortare på grunn av overgroing av blad og reduserte lysforhold i vannsøylen, og endringer i tare-kråkebolle balansen (kråkebollebeiting) vil kunne føre til fravær av stortare, eller til redusert tetthet og reduserte mengder av påvekstalger. Ved å

relatere endringer i stortarens egenskaper, f.eks. størrelse, tetthet og mengde påvekststalger, til de enkelte påvirkningsfaktorene kan en kvantifisere hvor mye av endringene som skyldes hver av faktorene. Dette blir vanskelig for egenskaper som påvirkes av flere faktorer samtidig. Men ved å måle utviklingen av sentrale parametere for stortaren vil en få et samlet mål for summen av ulike påvirkningsfaktorer på disse egenskapene, og vil kunne anslå om utviklingen i snitt er positiv eller negativ. Vi vil her beskrive et sett kriterier for naturtilstand hos tareskog basert data fra tidligere publiserte undersøkelser, supplert med kvantitative innsamlinger av planter fra toppskiktet foretatt i sommerhalvåret 2012.

## 1.2 Prosjektets formål

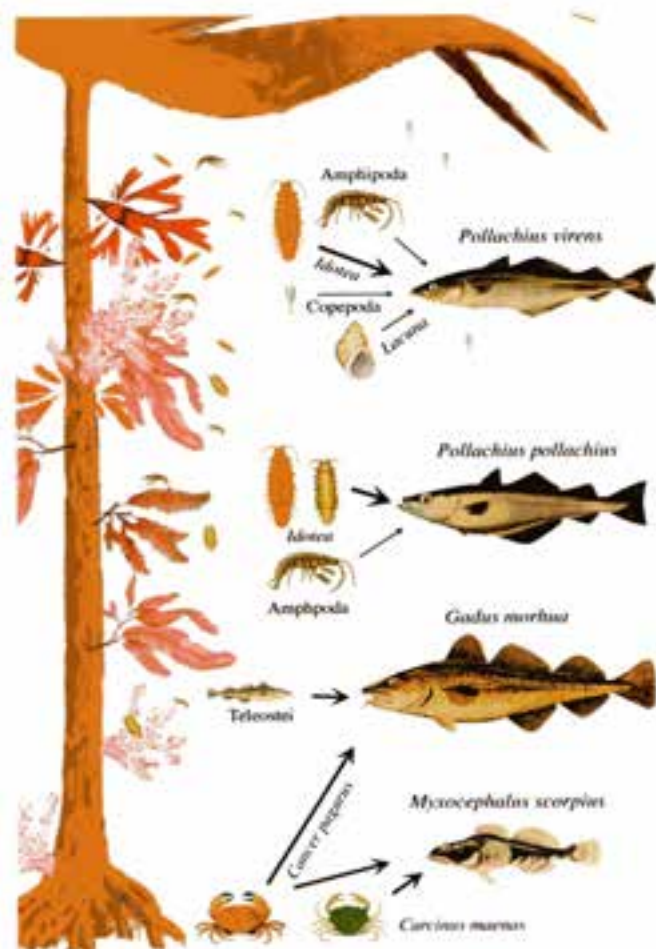
Målet med dette prosjektet er å utvikle en ny indikator for stortareskog som omfatter tareskogens økologiske funksjon som primærprodusent og habitat. Ved å fastsette hva som er naturlig størrelse for stortaren (i et upåvirket miljø) og mengde påvekststalger i ulike økoregioner, på ulike dyp og gitt ulik grad av bølgepåvirkning, vil vi utvikle en samlet indikatorverdi for å beskrive endringer fra naturtilstanden på tilsvarende måte som det gjøres i Vanndirektivet ved fastsettelse av økologisk tilstand for biologiske kvalitetselementer. Indeksverdiene vil bli basert på eksisterende data og ved feltinnsamling fra områder med lite data.

Vi har gått gjennom tilgjengelig litteratur og har hentet ut data som kan benyttes i analysene, det vil si rådata gitt i tabeller eller i vedlegg. Disse dataene ble supplert med egen feltinnsamling sommeren 2012 for å dekke de største manglene i datasettet. Det samlede datamaterialet ble analysert statistisk for å lage modeller over sammenhengen mellom tareskogens egenskaper og de viktigste miljøfaktorene. Fra modellene har vi beregnet referansetilstand for de ulike egenskapene for ulike områder og for ulike dyp- og eksponeringsklasser. I gjennomgangen av tilgjengelig litteratur ble det laget en oppsummering av dagens kunnskap om tareskogen som økosystem og en vurdering av hvilke parametere som vil egne seg i en indeks for stortare ut fra hva som finnes av data og hvilke kostnader som er knyttet til å bestemme de ulike parametere. Denne oppsummeringen blir presentert som et eget kapittel under Materiale og metoder.

# 2. Materiale og metoder

## 2.1 Tareskogen som økosystem

Et økosystem som tareskog er komplekst og variabelt, og påvirkes av mange ytre faktorer. For å kunne lage en indikator for naturtilstand for stortare er det nødvendig å generalisere tareplantens egenskaper. Selve tareskogen er relativt stabil over tid, mens organismene som lever i tareskogen vil være tilpasset til at den enkelte tareplanten har begrenset livslengde, som regel under 10 år. Tareplanten består av tre hovedkomponenter, festeorgan (hapter), stilk og blad (Figur 1). Hapteren er et rotliknende organ som fester seg til hardt underlag med en sterk lim-liknende substans. Hapteren består gjennom hele plantens liv, og vokser og skaper flere hulrom og gjemmesteder med alder. Stilken består også i hele taresens levetid, den vokser mest fram til taren når opp i toppskiktet (som tar ca. 4 år) og endrer seg fra å være glatt til å bli mer ru og bedre egnet som substrat for andre organismer. Påvekstartene som vokser på taresens stilk er viktige for tareskogens økologiske funksjon (i motsetning til påvekstorganismer på tarebladene, som kan kvele taren, som kjent fra sukkertare-død i Sør-Norge, Moy & Christie 2012). Arter som vokser på stilken består for det meste av ulike arter av rødalger, men også små stortareplanter, mosdyr (skorpeformete og buskformete), sekkedyr (kolonidannende og solitære) og svamp er vanlig. Bladet er ettårig og skiftes ut hver vår. Det gamle bladet henger da ytterst på det nye bladet før det gradvis slites vekk. Det nye bladet er glatt og rent om våren og forsommeren, men kan etter hvert bli noe begrodd av mosdyr og andre organismer utover sommeren og høsten.



Figur 1. Plansje som illustrerer tareplanten og dens funksjon i økosystemet. Figuren viser tareplanten med blad, stilk med påvekstalger, festeorgan (hapter) samt eksempler på fauna tilknyttet tareplanten og fisk som utnytter disse. Fiskene er ovenfra sei, lyr, torsk og ulke, som også illustrerer de ulike fiskenes vertikale fordeling i tareskogen. Plansjen er utarbeidet av ukjent illustratør til forskningsprosjektet Tareskogen som økosystem (UiO, HI og NIVA).

Tareplantene og påvekstalgene er primærprodusentene i systemet. Samtidig har disse algene stor betydning som habitat for andre organismer. Den arts- og individrike faunaen domineres av snegler og krepsdyr, og er først og fremst sekundærprodusenter i systemet. De utnytter energien produsert av plantene og overfører denne videre oppover i næringskjeden. Dette er i hovedsak små dyr med veldig høy omsetning og produksjon og som har en viktig funksjon som matkilde for andre dyr. Disse dyrene lever av overfloden som er produsert i tareskogen, gjerne basert på tarepartikler som er revet av og som er anrikt av næringsstoffer av mikroorganismer (Norderhaug m. fl. 2003, 2006). Disse sekundærprodusentene blir igjen spist av rovdyr som omfatter et bredt spekter av smådyr som børstemark, pigghuder, krabber, fisk, sjøfugl og sjøpattedyr. Når det gjelder fisk og andre større dyr som krabbe og hummer vet vi at disse holder til i, og favoriseres av, tareskog (Norderhaug m. fl. 2005, Woll m. fl. 2006). Det fins ikke tilstrekkelig med data som kan knytte en naturtilstand for tare opp mot mengde fisk og store krepsdyr, men vi vet at de er avhengige av en tett og storvokst tareskog.

### Taren som leveområde for påvekstalger og -dyr

Stilken blir begrodd av frodige påvekstalger etter at taren er blitt ca. 4-5 år gammel (Figur 3) og det er funnet over 40 arter rødalger på stortarestilker (Marstein 1997, Andersen 2007, Vigander 2007). For fastsittende fauna er det utført få kvalitative og kvantitative undersøkelser, og vi har for mangelfull kunnskap til å kunne fastsette naturtilstand for denne funksjonelle gruppen.



Figur 2. Tett tareskog med store tareplanter som danner et "canopy"-lag (dvs. et toppskikt). Foto: NIVA.

### Taren som leveområde for frittlevende smådyr

Store stortareplanter huser et mangfold av små dyr på og innimellom de flater og hulrom som finnes (Moore 1986, Schulze m. fl. 1990, Norderhaug m. fl. 2002, Christie m. fl. 2003, Eilertsen m. fl. 2011). Det er ulike faunasamfunn på de ulike delene av tareplanten. Det er funnet flest arter i hapteren, og denne har en stabil og arts- og individrik fauna gjennom hele året (Christie m. fl. 2003). Det lever også mange dyr blant påvekstalgene på tarestilkene. Påvekstalgene varierer gjennom sesongene og er mer kortlevde enn tareplanten, noe som påvirker faunaen (Norderhaug m. fl. 2002). Artsantallet av dyr er ikke nødvendigvis relatert til størrelsen på hapteren eller påvekstalgene (Christie m. fl. 2003, Norderhaug m. fl. 2007), men individantallet øker med økende habitatstørrelse. Mens hapteren har høyere artsmangfold kan påvekstalgene inneholde enormt store tettheter av små dyr utover sommeren. Bladet derimot huser få arter og individer i forhold til de andre delene av taren og har ingen egne arter som er spesielle for akkurat denne delen av taren (Christie m. fl. 2003). Mens bladet og stilken domineres av små snegl og krepsdyr er det i tillegg flere større børstemark, pigghuder og krepsdyr som kan holde til i hapteren.

Christie m. fl. (2003) beskriver rundt 250 arter av små bevegelige dyr i tareskogen der krepsdyr av typen amfipoder er den dyregruppa med flest arter (60), etterfulgt av snegl (48). Amfipoder og små snegl er også de mest tallrike, og det er ikke uvanlig med et antall på rundt 10 000 slike små dyr per tareplante og det er i enkelte tilfeller funnet nesten 10 ganger så mange på store tareplanter med store hapter og mye påvekstalger. Det antas at artsantallet vil øke dersom man utvidet undersøkelser til flere tareplanter og nye områder langs kysten. Slike undersøkelser er imidlertid svært tid- og kostnadskrevende, og det vil være lite hensiktsmessig å identifisere flere ti tusen små dyr for å komme fram til naturtilstand for tare på hvert sted. Det er utført en del undersøkelser av fauna knyttet til stortareskog langs Norskekysten (se Norderhaug m. fl. 2002, 2007, 2012, 2014, Norderhaug & Christie 2011, Christie m. fl. 2003, 2007, 2009, Jørgensen & Christie 2003, Waage-Nielsen m. fl. 2003). Disse undersøkelsene gir oversikt over hvordan

antall arter og mengde av evertebratfauna varierer med ulike egenskaper til tareplantene og påvekstalgene. Men dette datamaterialet dekker ikke hele norskekysten (mangelfullt i Nord-Norge).

Siden tareplantene og særlig påvekstalgene utgjør et leveområde med begrenset varighet er faunaen dominert av mobile arter som raskt kan finne nye habitater. Norderhaug m. fl. (2002) fant særlig høy mobilitet hos de som levde blant påvekstalgene, og mange av disse forflyttet seg ned i hapteren om vinteren når mengden av påvekstalger var redusert. Mobiliteten medfører at utvekslingen er stor mellom plantene og at nye tareplanter og påvekstalger raskt blir kolonisert når de vokser til (Jørgensen & Christie 2003, Waage-Nielsen m. fl. 2003).

Studier viser også at både arts- og individantall av fauna er forskjellig for ulike arter av påvekstalger (Christie m. fl. 2007, Norderhaug m. fl. 2014), og særlig har påvekstalger med komplisert struktur en rik fauna sammenliknet med påvekstalger med glatt og jevn struktur. Forskjellene kan variere noe for artsantall, men antall individer kan variere fra noen få hundre til over 2000 individer per 100 gram alger. Påvekstalger kan karakteriseres som glatte, bladformete, trådformete eller buskete; og de ulike gruppene ser ut til å bli kolonisert av ulike arter og i ulik tetthet av fauna (Christie m. fl. 2007). Imidlertid varierer disse påvekstalgene ofte med hvor høyt opp på stilken man undersøker, og de fleste tareplanter er begrodd med flere arter innen hver av de morfologiske typene. Ved beregning av naturtilstand for stortare vil det være for komplisert og tidkrevende å gå inn på et slikt detaljnivå. Siden denne faunaen er viktig for omsetning av næring (Norderhaug m. fl. 2003), og bidrar med høy sekundærproduksjon (Norderhaug & Christie 2011, Norderhaug m. fl. 2012) og næring til fisk (Norderhaug m. fl. 2005) er det viktig å finne en parameter som kan beskrive potensialet for forekomst av fauna. Størrelse på hapter og mengde av påvekstalger kan først og fremst være gode indikatorer på mengde assosiert fauna.



Figur 3. Tett tareskog med påvekstalger på stilken. Påvekstalgene har en viktig økologisk funksjon i tareskogen som leveområde for et mangfold av dyr. Foto: NIVA.

Konklusjonen på denne sammenfatningen er at en indikator må baseres på relativt enkelt gjennomførbare målinger av egenskaper som er viktige for tarens betydning for økosystemet. For at tareskog skal ha en god økologisk funksjon er både tarens størrelse og mengde påvekstalger på stilken viktige faktorer. I tillegg bør tareplantene vokse tett, slik at de utgjør en sammenhengende tareskog.

En stortareskog domineres av de store plantene som danner et stabilt toppskikt, såkalt canopy-lag (Figur 2), som oftest i tettheter på rundt 10 planter per m<sup>2</sup> (Christie m. fl. 1998, Rinde 2007, Pedersen m. fl. 2012b). For produksjon og økologisk funksjon regnes de store, voksne plantene i toppskiktet for viktigst, og det er derfor naturlig å basere en indikator for stortare i naturindeksen på parametere knyttet til disse plantene. Dette vil som regel være planter som er eldre enn 4-5 år, selv om det varierer langs kysten. Som regel blir plantene raskere utvokst i sør (Christie m. fl. 1998). Disse tareplantene vil generelt være de største og de eldste i populasjonen, og de vil ha potensiale for å huse de største forekomstene av påvekstalger og de høyeste tetthetene av evertebratfauna knyttet til både påvekstalger og hapter. Tareplantens størrelse, f. eks. stilkengde og hapterens størrelse, og mengde påvekstalger kan dermed fungere som indikatorer for mangfold og mengde av fauna. I tillegg vil tarens størrelse reflektere akkumulert vekst over tarens livslengde, og tettheten av canopy-planter vil reflektere balansen mellom rekruttering av små tareplanter og dødeligheten til canopy-plantene.

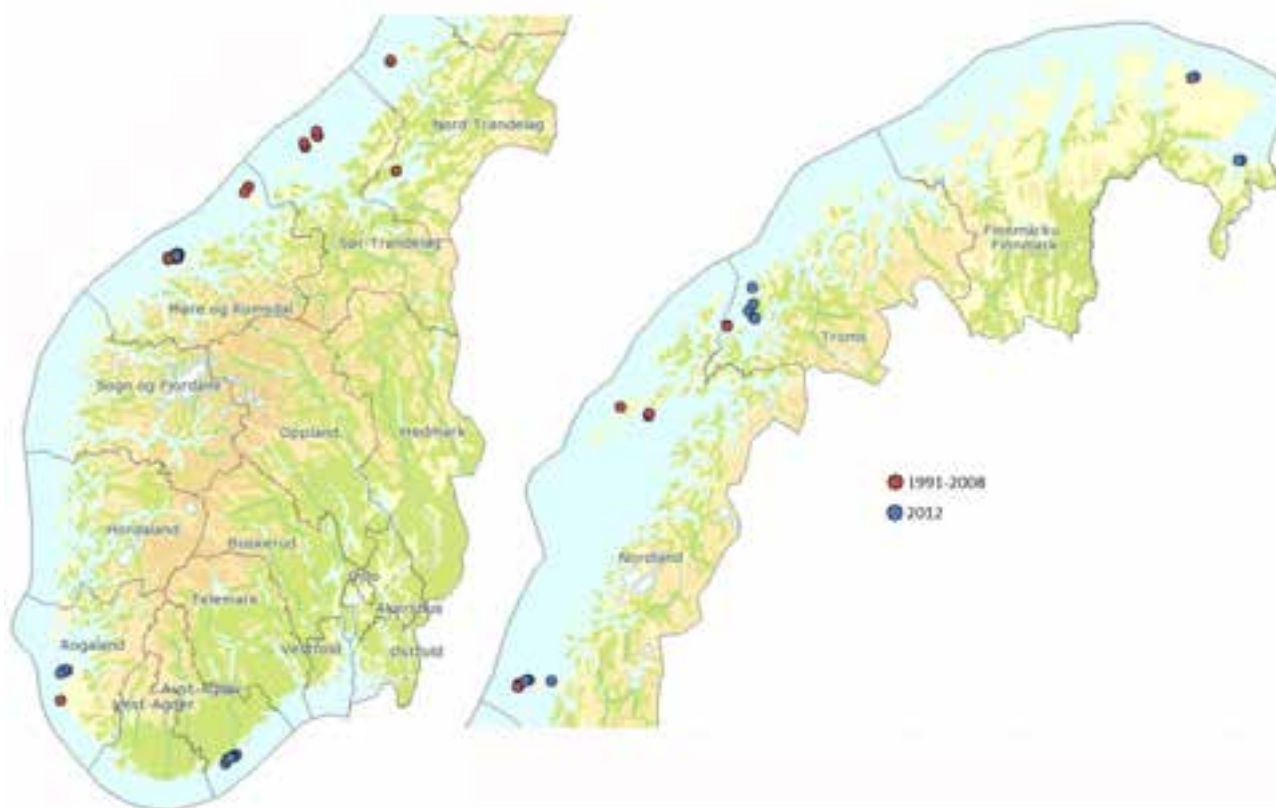
## 2.2 Eksisterende datamateriale (1990-2008)

Tilgjengelig eksisterende datamateriale i form av vitenskapelige artikler, rapporter og masteroppgaver ble brukt som utgangspunkt for hva som skulle suppleres med innsamling i felt og hva som var viktig å legge vekt på i en indeks. Blant annet har Rinde & Sjøtun (2005) og Rinde (2007) systematisert en del publisert og mindre tilgjengelig litteratur som inngår i de statistiske analysene her. I mange av de tidlige publikasjonene er datamaterialet lagt ved i form av tabeller med rådata eller med gjennomsnittsverdier.

Eksisterende litteratur (f.eks. Kain 1963, 1967, 1971a, b, 1979, Rinde & Sjøtun 2005, Bekkby m. fl. 2009, Vigander 2007) tyder på at det er særlig viktig å få kunnskap om hvordan naturtilstand for stortare varierer med viktige gradienter som breddegrad, bølgeeksponeringsgrad og dyp. Fra Midt-Norge er det gjort mange undersøkelser av stortare på ca. 5 m dyp (Røv m. fl. 1990, Christie m. fl. 1998, 2003, Rinde & Sjøtun 2005, Pedersen m. fl. 2012b, Andersen 2007, Norderhaug m. fl. 2012, Bekkby m. fl. 2014) som viser at stortarens stilkengde og hapter øker i størrelse med økt bølgeeksponering fra mer beskyttet til de mer eksponerte områdene, men flater ut fra middels til høy eksponering. Undersøkelser Angelteit (2013) har gjort viser også at mengde påvekstalger på stilken varierer med eksponering for både bølger og strøm, i tillegg til effekten av dyp, som skyldes lysforholdene.

Ut fra dette ble kun data som kan knyttes til breddegrad, dyp og grad av bølgeeksponering sammenstilt og analysert videre i denne studien (Figur 4). Dette datamaterialet hadde bra dekning på følgende egenskaper:

- Stilkengde (mye data fra 5 m dyp på Møre).
- Tarens produksjon (hovedsakelig data fra Møre).
- Påvekstalger, artssammensetning og mengde (data fra Møre og Nordland).
- Assosiert bevegelig fauna til hapter, stilk, og blad (data fra Arendal, Bergen, Møre, og Sør-Trøndelag).



Figur 4. Oversikt over hvor datamaterialet er samlet inn. Materiale fra 1991-2008 (røde punkter) var tilgjengelig via publikasjoner, mens materiale fra 2012 (blå punkter) ble samlet inn som en del av dette prosjektet.

### 2.3 Feltinnsamlinger 2012

Det ble sommeren 2012 gjort feltinnsamling basert på dykking for å få en best mulig dekning av ulike dybde- og eksponeringsklasser for flest mulig økoregioner. Siden det foreligger mye data for stortare på Møre-kysten ble det valgt å legge mindre vekt på innsamling av data i denne økoregionen enn opprinnelig foreslått i prosjektforslaget. Det ble i større grad prioritert å dekke ulike regioner i landet, og innsamlingen ble koordinert med andre feltaktiviteter for å få til en kostnadseffektiv feltinnsamling. På grunn av værforholdene ble de mest bølgeutsatte områdene noe nedprioritert. Det var vanskelig å finne stortare i beskyttede eller middels beskyttede områder i Nord-Norge på grunn av den massive nedbeitingen av kråkeboller. På beskyttede områder innenfor stortarens leveområde finnes stortare i de øverste meterne, mens sukkertare overtar og dominerer på litt større dyp, slik at innsamlingen begrenses til noe grunnere områder der. I Finnmark var det vanskelig å finne stortare mellom en ytre brem med mye butare, *Alaria esculenta*, og kråkebollebeiting.

Det ble gjort innsamlinger på 24 stasjoner med ulik bølgeeksponering fordelt på 6 ulike regioner (Tabell 1). På hver stasjon ble tetthet (antall canopy-planter per m<sup>2</sup>) beregnet på tre dyp, nemlig 5, 10 og 20 m (eller 15 der det ikke var tare på 20 m dyp) med fem replikate tellinger fra hvert dyp. Tre store planter fra hvert dyp ble samlet inn på hver stasjon for mål av lengde (bladlengde, stilklengde og hapterlengde og -bredde), vekt (bladvekt, stilkevekt, haptervekt), alder (åringer nederst i stilken) og mengde påvekstlanger (totalvekt). Plantene ble tilfeldig valgt, men kun enkeltstående planter ble samlet for å unngå planter som står så tett at hapterene er vokst inn i hverandre.



Tabell 1. Oversikt over antall stasjoner besøkt i 2012, fordelt på 6 økoregioner og tre ulike nivåer av bølgeeksponering (høy, middels og lav – innenfor stortarens leveområde). Kommentarfeltet viser hvor det ikke ble funnet stortareskog som forventet i de ulike regionene.

Økoregion(fylke)	Område	Eksponering	Antall stasjoner	Kommentar
Skagerrak (Agder)	Fevik, Grimstad, Homborsund	Høy	3	Her overtok sukkertare på de mer beskyttete lokalitetene
		Middels	3	
Nordsjøen sør (Rogaland)	Tananger	Høy	1	
		Middels	1	
		Lav	1	
Norskehavet sør (Møre og Romsdal)	Sandøy kommune	Middels	2	
Norskehavet (Sør-Helgeland)	Vega	Middels	2	Ikke stortareskog her pga. nedbeiting
		Lav	1	
Norskehavet nord (Sør-Troms)	Senja	Høy	2	Alle beskyttete lokaliteter var nedbeitet
		Middels	4	
Barentshavet (Finnmark, Varanger)	Kongsfjord og Bøkefjord	Middels	2	Vanskelig å finne sikre og gode lokaliteter pga. nedbeiting
		Lav	2	

For å beskrive naturtilstand for stortare har vi brukt flere av taresens egenskaper som responsvariabel i de statistiske analysene; blant annet bladlengde, bladvekt, stilk lengde, stilkvekt, haptervekt, totalvekt, total epifyttvekt og tetthet av canopy-planter. Breddegrad, bølgeeksponeringsgrad og dyp er inkludert som kontinuerlige forklaringsvariable i analysene. Disse forklaringsvariablene er også delt inn i kategorier, for å gjøre klassevise beregninger av de ulike tareegenskapene (se nedenfor). Det er mye av det tidligere datamaterialet som ikke tilfredsstillende disse nødvendige kravene og som derfor måtte suppleres ved nye feltinnsamlinger.

Det er en del utfordringer knyttet til innhenting av materiale for å kunne karakterisere naturtilstanden til ulike lokaliteter. De værharde forholdene på bølgeeksponerte lokaliteter og vanskelige dykkeforhold i områder med mye bølger og strøm, gjør at det i stor grad mangler data fra slike områder. På de mest bølgeeksponerte områdene er det andre alger enn stortare som dominerer. Ved veldig høy bølgeeksponering vil butare dominere øverst, og stortare rives bort når den vokser over en viss størrelse. Dette er forhold som ikke blir fanget opp av innsamlet materiale. I tillegg er det i dag ikke mulig å finne representative forekomster av tareskog der denne er nedbeitet av kråkeboller. Det var derfor vanskelig å finne tare i Troms og Finnmark og flere steder i Nordland pga. dagens situasjon med kråkebollebeiting (jf. Tabell 1). Særlig var det vanskelig å finne gode tarelokaliteter i Finnmark (Varanger) på grunn av mye butare i de øverste meterne og mye kråkeboller, samt at værforholdene gjorde det vanskelig å gjøre innsamlinger i de utsatte områdene der tare fortsatt finnes. Tareskogen som habitat vil også endres ved moderat beiting på stilkens påvekstlager av for eksempel røde kråkeboller (Sjøtun m. fl. 2006, Norderhaug og Christie 2009, Angeltveit 2013). En annen faktor som fører til avvik fra naturtilstanden og som var vurdert før innsamling er taretråling som endrer på tareskogens aldersstruktur og tetthet (Christie m. fl. 1998, Rinde m. fl. 2006). Beiting og nyetablering av tare kan også medføre at alder ikke blir representativt for normaltilstanden. Dette gjelder også områder med mye taretråling (fra Rogaland til Trøndelag).

## 2.4 GIS og forklaringsvariable

Bølgeeksponering er klassifisert i tre kategorier innenfor stortarens utbredelsesområde; lav- (beskyttet), middels- og høy bølgeeksponering, der grenseverdiene, såkalte swm-verdier (Isæus 2004) går ved 100 000 mellom lav og middels og ved 500 000 mellom middels og høy eksponering. Bølgeeksponeringsverdier for alle stasjonene ble ekstrahert fra NIVAs heldekkende GIS-kart over bølgeeksponering, med en 25 x 25 meter oppløsning. Vi har også tilgjengelig dybdekart med samme oppløsning, men siden det var knyttet dybdeinformasjon til alle observasjonene brukte vi feltmålte dybdeverdier. Fra GIS hentet vi også observasjonenes breddegrad og lengdegrad (UTM\_WGS\_84), slik at disse kunne inngå som forklaringsvariable i analysene.

## 2.5 Statistiske analyser

Nye og gamle data er benyttet til å modellere tarens egenskaper langs ulike geografiske-, eksponerings- og dybdegradienter. De statistiske analysene ble utført i R (versjon 2.15.1, R Core Team 2012). Breddegrad, lengdegrad, bølgeeksponering og dyp ble brukt som forklaringsvariable for åtte valgte responsvariable; bladlengde, bladvekt, stilk lengde, stilkvekt, haptervekt, totalvekt, epifyttvekt (mengde påvekststalger) og tetthet. Analysene ble utført ved bruk av Mixed Generalised Additive Models (GAMM) i biblioteket *mgcv* (Wood 2011) som egner seg for identifisering av ikke-lineære sammenhenger. Siden mange av observasjonene ikke var uavhengige inkluderte vi stasjon som random faktor i analysene. Vi tillot en viss grad av ikke-linearitet ( $k=4$  for enslige variable og  $k=8$  for interaksjoner mellom variable) slik at kurvene tillates å øke eller avta ikke-lineært, samtidig som de kan indikere asymptotiske trender og topp-/bunnpunkter. Transformasjon ( $\ln(x+1)$ ) var nødvendig for alle responsvariablene, unntatt bladlengde og tetthet, på grunn av manglende normalfordeling, avvikende «homoscedasticity» i residualplottene eller for å unngå negative prediksjonsverdier. Alle modeller inkluderte dyp og bølgeeksponering siden vi vet at disse er de aller viktigste faktorene for tareskogsutbredelse og -kvalitet. I tillegg testet vi om det var noen effekt av nord-sør gradienten og om denne eventuelt var ulik mellom sørvest- og sørøstlandet (Skagerrakkysten) og inkluderte derfor breddegrad som forklaringsvariabel i en alternativ modell og interaksjonen mellom breddegrad og lengdegrad i en annen, slik at tre kandidatmodeller ble testet for hver av de 8 responsene. Akaike modellseleksjonskriterium (AIC) ble brukt for å vurdere hvilken av de tre kandidatmodellene som var best (det vil si har lavest AIC verdi).

Modellene ble brukt til å beregne regionsvise (Skagerrak, Vestlandet, Midt-Norge og Nord-Norge) verdier for naturtilstand for alle egenskapene kategorisert i to dyp (5 og 15 m) og for to grader av bølgeeksponering (swm-verdier på 500 000 og 100 000, Isæus 2004).

## 3. Resultater

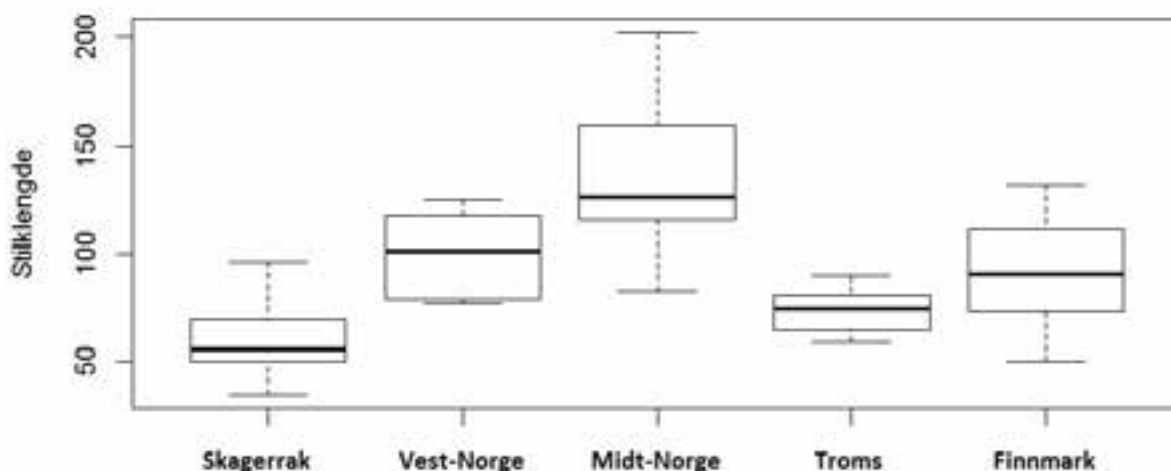
### 3.1 Eksisterende data på størrelse og mengde påvekststalger

Det vanligste målet for tarestørrelse er stilk lengde, og det er først og fremst dette målet som er brukt i tidligere undersøkelser. Ved å gå gjennom og samle det som er utført av stilmålinger der de fleste stasjonene ligger på rundt 5 m dyp vises en trend med de største tareplantene i Midt-Norge og med mindre planter mot nord og sør (Figur 5). Det er stor variasjon i stortarens størrelse innen hver av regionene, noe som i stor grad kan skyldes at målingene er tatt ved ulike miljøforhold. Undersøkelsene til Pedersen m. fl. (2012b) og Bekkby m. fl. (2014) viser også stor variasjon i stilk lengde hos stortare fra samme område på kysten selv om disse studiene tar hensyn til dyp og grad av bølgeeksponering. Imidlertid viser flere undersøkelser fra 5 m dyp på Mørkysten (Andersen 2007, Pedersen m. fl. 2012b, Norderhaug m. fl. 2012) at den største forskjellen er mellom mer beskyttet og middels bølgeeksponerte områder, mens verdiene flater noe ut fra middels eksponert og til høy bølgeeksponering. Kommer man langt ut i områder med særlig høy bølgeeksponering viser litteraturstudien at tareplantene ikke klarer å vokse opp på de grunneste områdene. Her dominerer butare i de øverste meterne og Vigander (2007) fant de største plantene først på 10 m dyp der stilk lengden var på nivå med planter fra 5 m dyp på andre stasjoner i samme område (Tabell 2).

Tabell 2. Data på stilk lengde og mengde påvekststalger (gjennomsnitt av 5 planter) i spesielt høy-eksponert område og ved ulike dyp (hentet fra Vigander 2007).

	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m
<b>Stilk lengde (cm)</b>	84	141	91	60	34
<b>Epifytter (g våtvekt*)</b>	33	108	63	30	9

\* Våtvekt er 3\* tørrvekt, omregnet for å være sammenlignbart med andre verdier i denne studien.



Figur 5. Boxplot av stilk lengder fra tidligere undersøkelser (før 2012). Medianverdier og antall studier (n) er følgende: Skagerrak (Aust- og Vest-Agder, n=8, median=56 cm), Vestlandet (Rogaland og Hordaland, n=6, median=101 cm), Midt-Norge (Møre og Helgeland, n=50, median=126 cm), Troms (Lofoten-Senja, n=10, median=74,5 cm) og Finnmark (Vest- og Øst-Finnmark, n=24, median=90,5 cm).

### 3.2 Feltinnsamling 2012

Siden det mangler informasjon om dyp og bølgeeksponering til det meste av de eksisterende dataene var det nødvendig å hente nye felldata. Mange av de gamle observasjonene er dessuten kun grovt stedfestet slik at dyp og bølgeeksponering heller ikke kunne hentes ut fra GIS-kart. I tillegg til dette dekker nye data også geografiske manglende områder samt informasjon som er viktige for tarens funksjon.

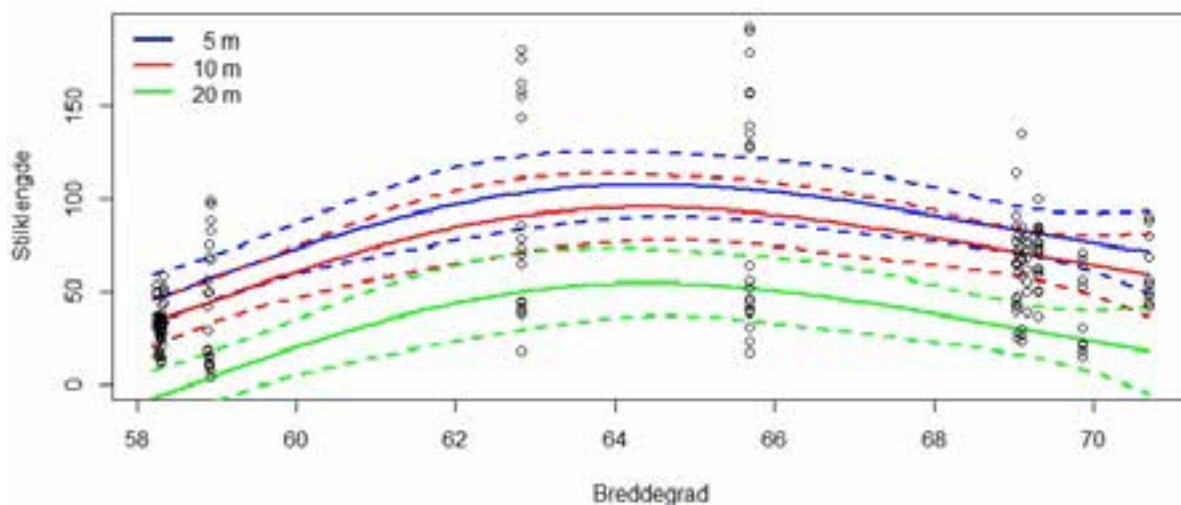
I Tabell 3 er det satt opp gjennomsnittsverdier for de viktigste målingene som ble utført i 2012, og åpne felt viser hvor vi ikke kunne finne tare (dette kun på stasjoner med lav bølgeeksponering). Dataene på stilk lengde viser den samme trenden som fra eksisterende data, med små planter på Skagerrakkysten, økende stilk lengde til maksimum på over 1,5 m på kysten av Midt-Norge, og reduserte stilk lengder nordover i Troms og Finnmark. Tabell 3 gir i tillegg informasjon om hvordan de ulike parameterne varierer med breddegrad, dyp og eksponering. Tareplantenes totalvekt, størrelsesforholdet mellom stilk og blad, gjennomsnittsalder i populasjonen, mengde påvekstalger og tetthet av store planter varierer til dels kraftig langs de nevnte gradienter. De største plantene finnes på kysten av Midt-Norge og kan ha en totalvekt på over 2,5 kg, de kan bli rundt 10 år, ha over 200 g påvekstalger og opptre i tettheter på over 12 planter per m<sup>2</sup> i toppskiktet. Det at forholdet mellom blad og stilk varierer mye, og er lavest der stilken er størst, indikerer at bladet er mindre variabelt i størrelse enn stilk lengden. Siden fotosyntesen foregår i bladet betyr dette at fotosynteseaktivitet er optimalisert selv om plantene varierer i størrelse. I beskyttede deler av kysten kan man finne en spesiell form av stortare med tynn stilk og avrundet blad. Planter med denne vokseformen ble samlet inn i Finnmark og beregninger av dennes egenskaper er inkludert i Tabell 3.

Ved å sammenlikne historiske data i Figur 5 og Tabell 2 med de data som ble innsamlet i 2012 og presentert i Tabell 3 og Figur 6 ser vi den samme trenden med de minste plantene på Skagerrakkysten, en økning i størrelse på Vestlandet opp til Møre, med de største plantene fra Møre til Helgeland og deretter avtagende størrelse videre nordover.

Tabell 3. Gjennomsnittsverdier av innsamlet datamateriale fra 2012. Her er høy og middels bølgeeksponering slått sammen. Det fantes ikke stortare på beskyttet bølgeeksponering i alle områder og på alle dyp, enten på grunn av overgang til sukkertareskog (Agder, Møre og Nordland) eller på grunn av nedbeiting. Sistnevnte var særlig tilfelle i Nordland, Troms og Finnmark. For Finnmark er stortare med flikete blad sammenliknet med formen med mer avrundede blad *L. hyperborea cucullata* (verdier gitt i parentes).

Tare mål	Eksposering	Dyp (m)	Agder	Rogaland	Møre	Nordland	Troms	Finnmark
Stilk lengde (cm)	Høy	5	34	63	162	159	73	86
		10	39	56	74	102	72	58
		15-20	20	5	38	33	57	47
	Lav	5		65		46	78	47 (50)
		10		13			70	59
		15-20		12			38	23
Totalvekt (g)	Høy	5	346	663	2532	2216	1078	1280*
		10	324	618	980	1102	1014	582
		15-20	121	22	151	135	506	425
	Lav	5		661		788	730	828 (482)
		10		59			441	728
		15-20		66			133	124
Bladvekt/stilkvekt	Høy	5	6,5	2,0	0,6	0,5	2,1	1,4
		10	3,5	3,7	1,2	0,8	2,5	1,5
		15-20	5,3	15,3	1,6	2,3	1,9	1,5
	Lav	5		1,8		3,1	2,3	4,1 (4,9)
		10		7,8			2,1	1,9
		15-20		7,6			3,3	4,3
Alder (år)	Høy	5	5,1	5,5	9,0	9,2	8,3	6,3
		10	6,1	4,5	6,2	8,0	9,0	6,0
		15-20	5,0	1,7	4,7	4,5	7,8	6,3
	Lav	5		5,3		8,3	10,7	6,8 (5,0)
		10		2,3			10,5	7,3
		15-20		3,0			7,7	5,7
Mengde påvekst (g)	Høy	5	4,5	110,7	293	149,7	18,3	2,7
		10	14,6	87,0	87,2	45,8	38,2	2,7
		15-20	5,7	0,0	3,8	0,7	18	15,7
	Lav	5		36,0		8,0	51,5	8,4 (0)
		10		0,0			2,8	2,3
		15-20		0,3			15,0	2,0
Tetthet (planter per m <sup>2</sup> )	Høy	5	13,6	14,4	13,2	12,8	13,0	6,4
		10	14,8	12,8	11,6	13,2	10,4	8,8
		15-20	4,0	3,6	8,0	6,8	6,6	8,8
	Lav	5		8,8		4,0	12,0	15,2
		10		2,4			4,4	9,6
		15-20		2,4			3,6	8,0

\* Finnmark har høy totalvekt fordi haptervekten her er høy.



Figur 6. Gjennomsnittlig stilk lengde (heltrukken linje, stiplet angir 2 standard feil) fra ytre/midtre stasjoner mellom Skagerrak og Finnmarksysten på 5, 10 og 20 m dyp. Alle data er fra sommeren 2012. Skagerrak er på ca. 58,5°N, Rogaland 59°N, Møre 62,5°N, Vega 65,5°N, Senja 69°N og Finnmark 70-71°N.

### 3.3 Analyser av samlet datamateriale

De statistiske analysene er basert på bruk av både tidligere eksisterende og nye data. De resulterende modellene viser trendene i tarens egenskaper langs de ulike miljøgradientene. For analysene av bladlengde, stilk lengde og påvekstlanger var den mest kompliserte modellen best ut fra AICc-verdiene (Tabell 4). For bladvekt, stilkvekt, haptervekt og totalvekt var modellen som inkluderte breddegrad den beste. Mens kun tetthet var best beskrevet med den enkleste modellen som kun inkluderte dyp og eksponering. Mengden av variasjonen som var forklart av dyp, bølgeeksponering og breddegrad varierte mye mellom de ulike taremålene. Mengden av forklart variasjon (gitt ved  $R^2$ ) varierte mellom 22 % for bladlengde og hele 82 % for stilkvekt. Også totalvekt ( $R^2=0,80$ ), haptervekt ( $R^2=0,74$ ), stilk lengde ( $R^2=0,68$ ), bladvekt ( $R^2=0,64$ ) og mengde påvekstlanger ( $R^2=0,66$ ) hadde høy forklaringsgrad basert på modeller med de to miljøfaktorene og evt. bredde- og lengdegrad (Tabell 4). Modellene som viser hvordan alle tareegenskapene (unntatt alder) varierer med miljøgradientene er vist i figurpanelene i Figur 7, 8 og 9 for henholdsvis dyp, eksponering og breddegrad. Tarens egenskaper er gitt som gjennomsnittsverdier med en variasjon lik to standardfeil for den gitte miljøgradienten. Spekteret til disse verdiene tilsier modellert normaltilstand for en voksen tareplante langs miljøgradienten gitt gjennomsnittlig verdi av de to andre miljøfaktorene (se figurtekstene). Figur 10 viser modellene for tarens alder, mengde påvekstlanger og forholdet mellom bladvekt og stilkvekt for canopy-planter langs breddegrad og for hvert av dypene 5, 10 og 20 m. Hvordan de samme åtte egenskapene varierer langs grad av bølgeeksponering, for 4 geografiske områder representert ved koordinatene lat=70, long=18 (Nord-Norge), lat=64, long=9,0 (Midt-Norge), lat=60, long=5,0 (Vestlandet) og lat=58,5, long=9,0 (Skagerrak) og for de to dypene 5 og 15 m i hvert område er vist i Vedlegg 1.

Modellene viser samme trend som nevnt tidligere når det gjelder tarestilkens størrelse ved ulike breddegrader. Tarestilken blir gradvis mindre ved økende dyp mens den blir lenger med økende bølgeeksponering. Flere av de andre tareegenskapene følger samme mønster som for stilk lengde. Jevnt over er det størst variasjon i tarens egenskaper på 5 m dyp i forhold til de andre dypene. I de fleste regionene er det liten forskjell i stilk lengden på 10 og 5 m dyp mellom middels eksponerte og bølgeeksponerte stasjoner. Dette gjør at en kan sette samme naturtilstand for tareplanter på henholdsvis 5 og 10 m dyp for områder med middels og høy grad av bølgeeksponering.

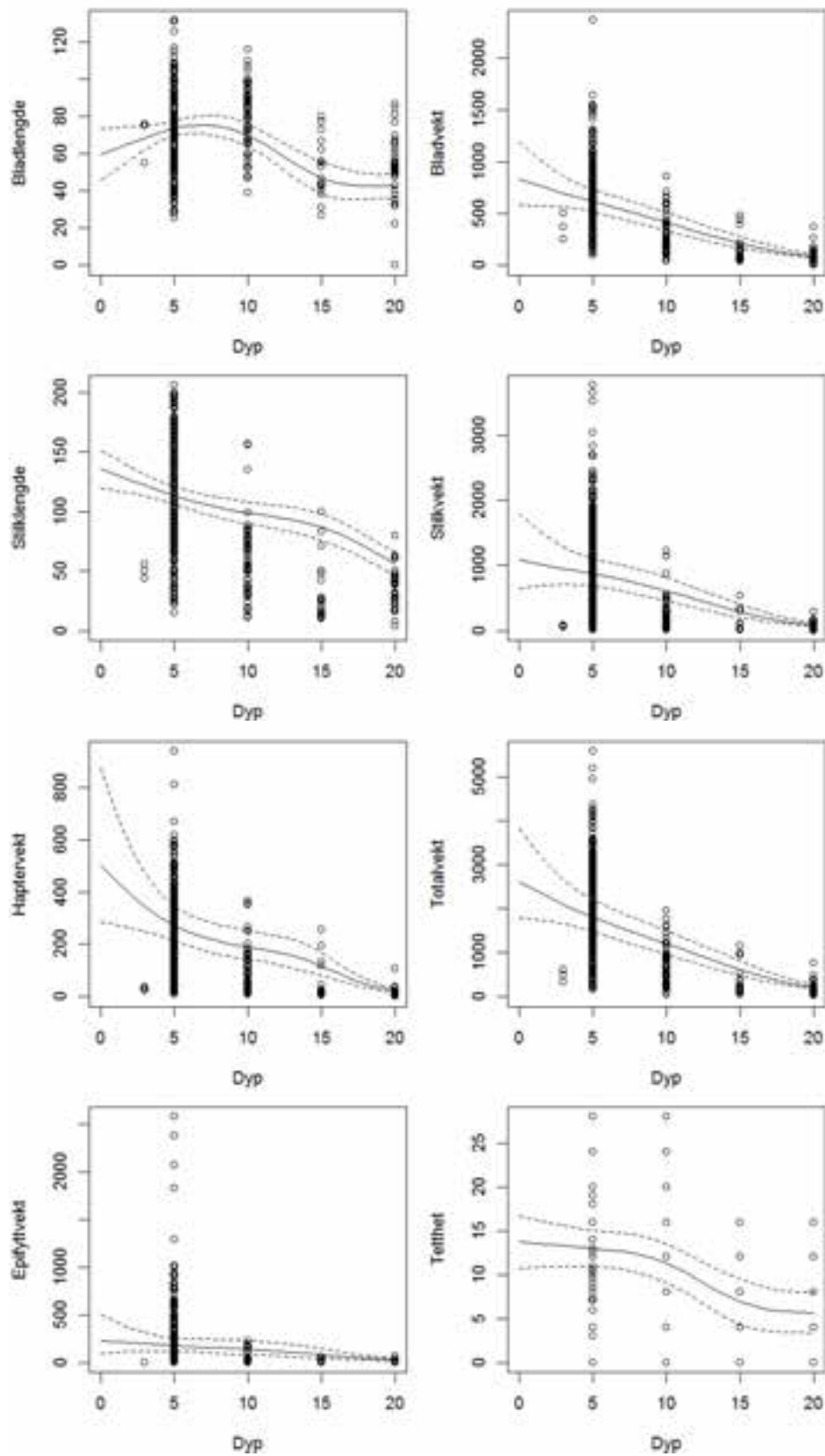
Tabell 4. Oversikt over de to kandidatmodellene testet for hver responsvariabel, forskjeller i AICc-verdier og hvor mye av den totale variasjonen som er forklart av modellene ( $R^2$ ) der verdier over 0,60 er uthevet.

Tare mål	Kandidatmodell	$\Delta AICc$	$R^2$
bladlengde	dyp + swm	15,7	0,11
	dyp + swm + bredde	6,5	0,20
	<b>dyp + swm + bredde x lengde</b>	0,0	<b>0,22</b>
log(bladvekt)	dyp + swm	12,1	0,54
	<b>dyp + swm + bredde</b>	0,0	<b>0,62</b>
	dyp + swm + bredde x lengde	1,4	<b>0,64</b>
stilk lengde	dyp + swm	24,4	0,59
	dyp + swm + bredde	3,4	<b>0,68</b>
	<b>dyp + swm + bredde x lengde</b>	0,0	<b>0,68</b>
log(stilkvekt)	dyp + swm	52,8	<b>0,61</b>
	<b>dyp + swm + bredde</b>	0,0	<b>0,82</b>
	dyp + swm + bredde x lengde	2,7	<b>0,82</b>
log(haptervekt)	dyp + swm	43,9	0,52
	<b>dyp + swm + bredde</b>	0,0	<b>0,74</b>
	dyp + swm + bredde x lengde	2,0	<b>0,74</b>
log(totalvekt)	dyp + swm	33,5	<b>0,64</b>
	<b>dyp + swm + bredde</b>	0,0	<b>0,79</b>
	dyp + swm + bredde x lengde	3,1	<b>0,80</b>
log(påvekstalgevekt)	dyp + swm	37,5	0,43
	dyp + swm + bredde	7,2	<b>0,61</b>
	<b>dyp + swm + bredde x lengde</b>	0,0	<b>0,66</b>
tetthet	<b>dyp + swm</b>	0,0	0,29
	dyp + swm + bredde	3,0	0,29
	dyp + swm + bredde x lengde	0,6	0,30

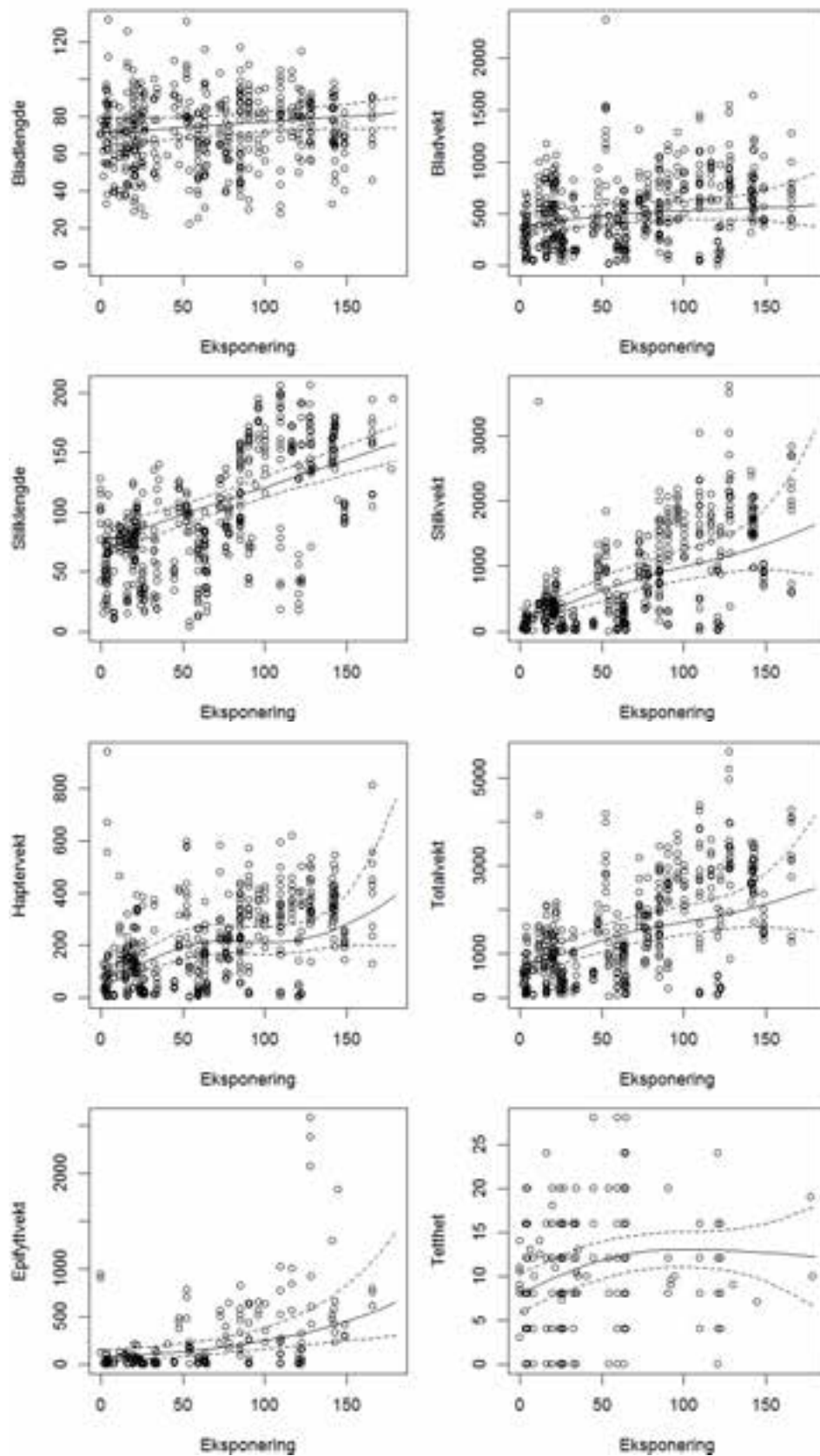
Bladvekt varierer etter samme mønster som tarestilken, men denne er mindre påvirket av breddegrad og bølgeeksponering. Festeorganet varierer også etter samme mønster som stilk lengde med dyp og bølgeeksponering, men den ser ikke ut til å avta vesentlig fra Midt-Norge og nordover. Modellen for hele tareplantens vekt viser det samme mønsteret som synes typisk for taren; den blir størst mot grunnere vann, mot høyere bølgeeksponering og langs kysten av Midt-Norge. Imidlertid viser modellene at trenden ikke er lineær langs de ulike gradientene. Mengde påvekstalger varierer etter et liknende mønster: avtagende mengde med økt dyp, økt mengde med økt bølgeeksponering og med høyest mengde i Midt-Norge og avtakende sørover og nordover.

Tetthet av tareplanter ser ut til å være ganske lik langs hele kysten, men den avtar nedover i dypet. Tettheten ser ut til å øke noe fra lav til middels høy bølgeeksponering, men variasjonen er stor. Tettheten av store tareplanter ligger på rundt 10 eller litt høyere per  $m^2$  på 5 og 10 m dyp, mens tetthet og størrelse avtar raskt videre nedover på dypet. Med en tetthet på over 10 planter per  $m^2$  og totalvekt på over 2,5 kg per plante kan total biomasse per  $m^2$  for canopy-laget overstige 30 kg per  $m^2$ . Hvis man i tillegg skal regne med små og mellomstore tareplanter pluss påvekstalgene vil man kunne få en total algebiomasse på rundt 40 kg per  $m^2$  på grunne og bølgeeksponerte områder i Midt-Norge.

Gjennomsnittlig alder ser ut til å øke noe fra Sørlandet til Vestlandet og med høyest alder i Midt- og Nord-Norge. Plantene på dypet har lavere gjennomsnittsalder.

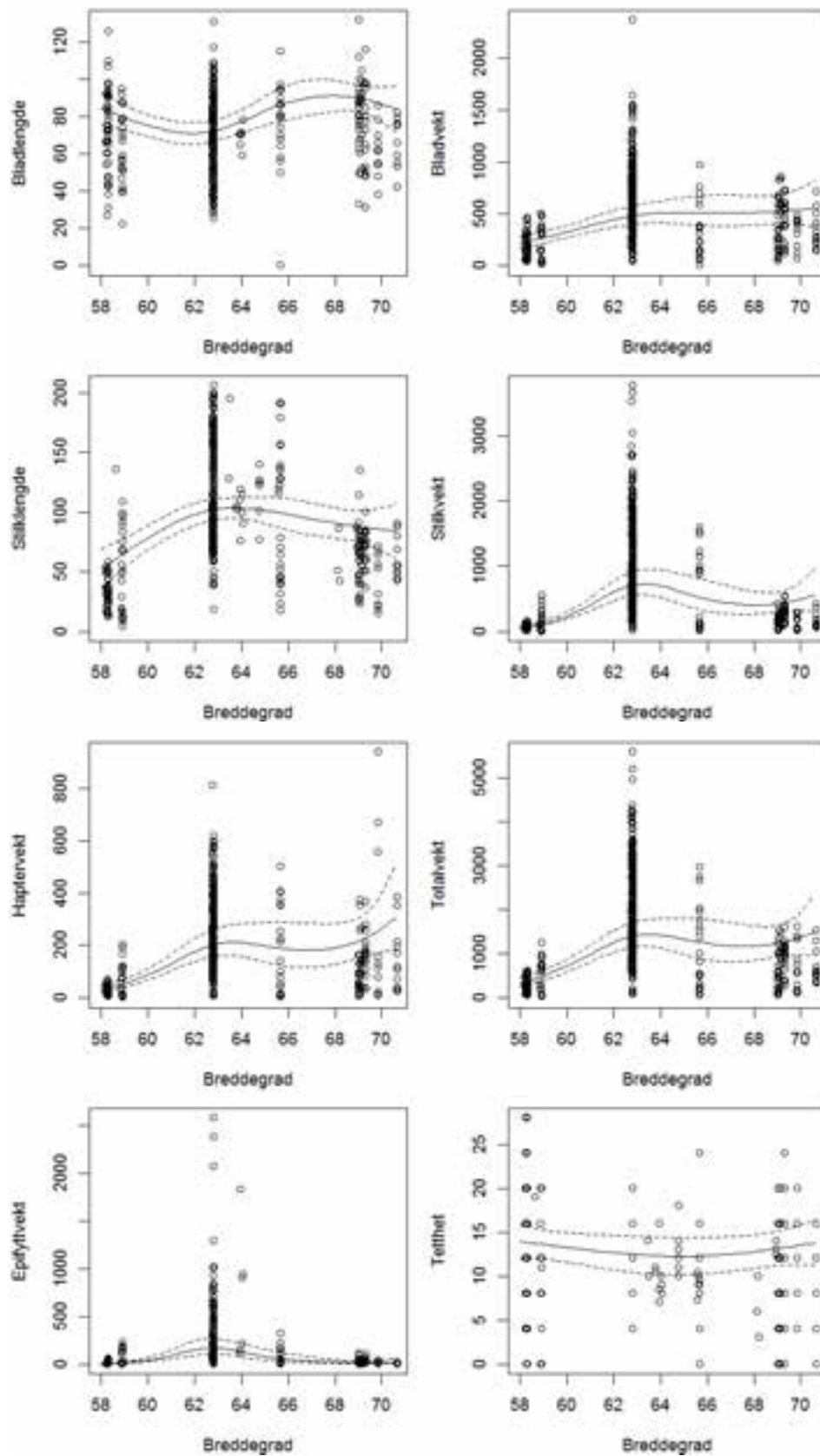


Figur 7. Modellerte kvalitetsmål på tare som funksjon av dyp og standardisert for gjennomsnittlig eksponering (ca. 600 000) og breddegrad (ca. 63,5°N) for datamaterialet.

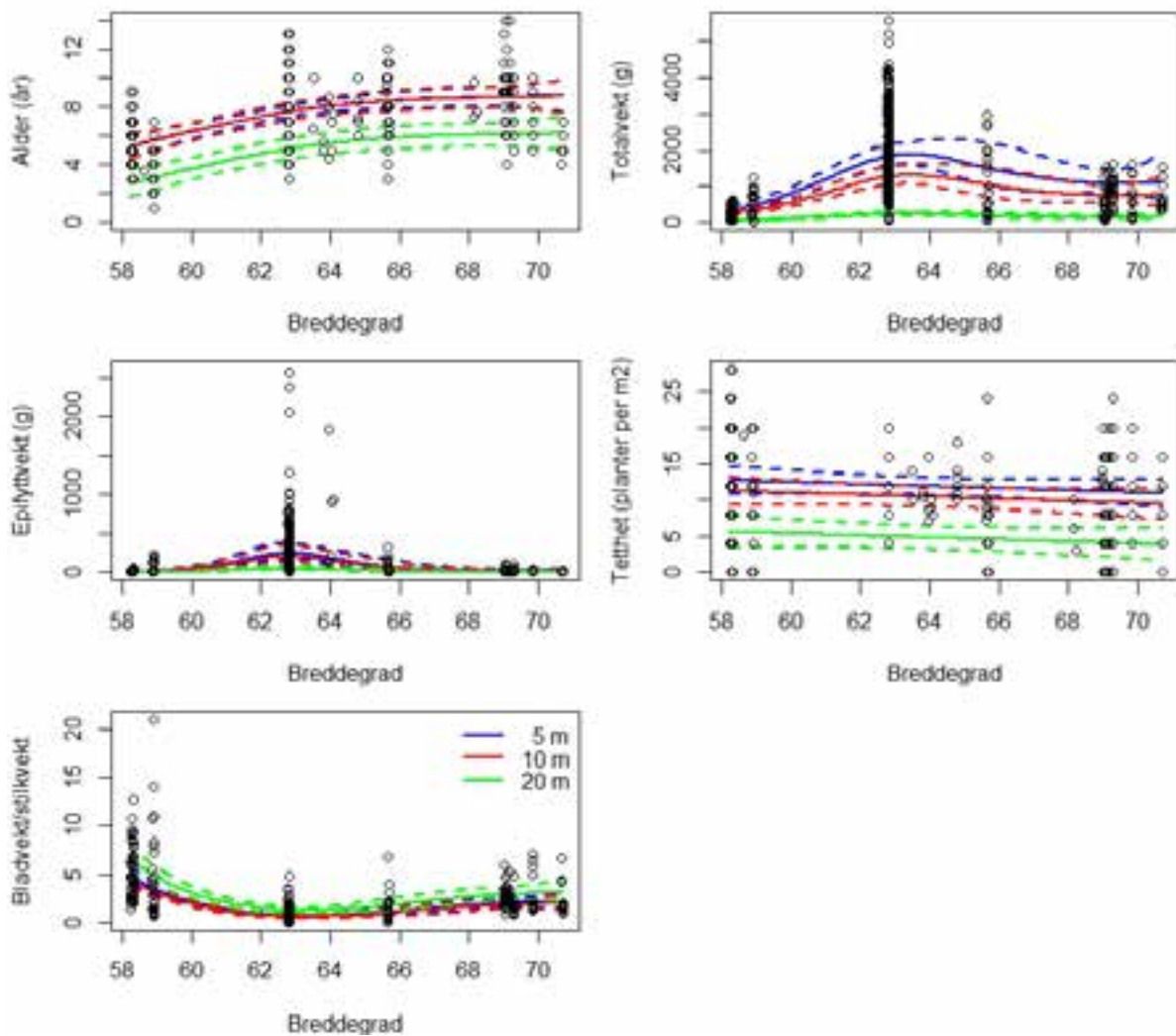


Figur 8. Modellerte kvalitetsmål på tare som funksjon av eksponering og standardisert for gjennomsnittlig dyp (ca. 8 m) og breddegrad (ca. 63,5°N) for datamaterialet.





Figur 9. Modellerte kvalitetsmål på tare som funksjon av breddegrad og standardisert for gjennomsnittlig dyp (ca. 8 m) og eksponering (ca. 600 000) for datamaterialet.



Figur 10. Stortarealder og andre parametere endres med breddegrad for dypene 5, 10 og 20 m, i følge de statistiske modellene. Voksne tareplanter fra ytre/midtre stasjoner mellom Skagerrak og Finnmarkskysten på henholdsvis 5 (blå), 10 (rød) og 20 (grønn) meters dyp.

Alderssammensetningen av voksne planter er sannsynligvis for variabel til at den kan inkluderes i en indeks for naturtilstand, men alder over 4-5 år er en viktig forutsetning for at målte tareegenskaper kan benyttes i en indeks for naturtilstand for stortare.

## 4. Diskusjon

### 4.1 Generelle trender i stortarens egenskaper

Det er tidligere gjort undersøkelser som viser at stortareskogens struktur varierer med enkelte viktige miljøgradienter (se Rinde & Sjøtun 2005, Pedersen m. fl. 2012b og referanser i disse). Vi har i dette prosjektet analysert hvordan tarens egenskaper som størrelse, tetthet, mengde av påvekstalter og alder varierer langs de antatt viktigste miljøfaktorene dyp, bølgeeksponering og breddegrad langs norskekysten. Modellene forklarer en ganske høy andel av variasjonen til disse egenskapene. Ut fra modellene er det mulig å etablere verdier for naturtilstand til stortare med hensyn til f. eks. størrelse (stilk lengde) og mengde påvekstalter. Modellene for tetthet, målt som antall planter per m<sup>2</sup> i toppskiktet, hadde liten forklaringsgrad, noe som betyr at den varierer lite med forklaringsvariablene inkludert i analysene. Allikevel er tetthet en viktig faktor i forhold til å definere om et område kan karakteriseres til å ha tareskog eller kun spredte forekomster eller enkeltindivider. En normal tareskog forutsettes å ha vanlig til tett forekomst av stortare (se Tabell 5). Modellene viser klart reduserte tettheter med økt dyp, men har ingen klare mønster med hensyn til breddegrad og bølgeeksponering. Analysene er basert på målinger av voksne tareplanter. Dette gjør at tarens alder mer blir en forutsetning for å kunne måle riktig naturtilstand enn at faktoren kan inngå som en parameter til å beskrive naturtilstand. Taren er gjerne utvokst ved 4-5 års alder og har da fått begroing av påvekstalter som er viktige for tareskogens funksjon.

Tarens egenskaper er størst ved Midt-Norge og avtar nordover og sørover fra dette «hovedutbredelsesområdet». Videre avtar mange av egenskapene fra ytre bølgeeksponerte områder og innover til overgangen mot sukkertare-dominans, og fra grunt vann og nedover mot nederste voksegrense. Tetthet av voksne planter er ganske lik i de ulike regionene, men reduseres nedover mot dypere vann.

### 4.2 Egenskapsverdier for stortare i naturtilstand

Analysene viser at stortaren kan karakteriseres innenfor to dybdeintervaller: 1) over 10 m dyp og 2) under 10 m dyp. Det er også to viktige kategorier av bølgeeksponering som skiller seg ut: 1) beskyttet og 2) bølgeeksponert. Den bølgeeksponerte klassen omfatter kategoriene middels og sterk bølgeeksponering. Kombinert, gir dette 4 klasser per område (som kan settes til økoregionnivå eller på kommunenivå) som vi kan beskrive naturtilstanden for stortare til, basert på gjennomsnittverdier og variasjonen til disse basert på prediksjoner fra modellene (jf. Vedlegg 1). Naturtilstanden for stortare for disse klassene innen fire områder (totalt 16 klasser) representert ved en valgt breddegrad (Skagerrak – 58,5°N, Vestlandet - 60°N, Midt-Norge - 64°N, og Nord-Norge – 70°N) for de 8 målte tareegenskapene (alle responsvariablene unntatt alder) er vist i Tabell 5.

Ved hjelp av modellene er det mulig å lage GIS-lag på f. eks. kommunenivå for naturtilstand for hver av disse egenskapene. Forskjellige kommuner vil ha ulik andel av kystarealene sine innenfor de ulike dyp- og bølgeeksponeringsklassene, og GIS-analyser vil gjøre det mulig å lage et vektet gjennomsnitt per kommune per egenskap.

I motsetning til vanndirektivet har vi ikke inkludert analyser av nedre voksegrense i dette arbeidet. Stortaren vokser mer spredt ettersom man nærmer seg nedre grense, og det er foreløpig usikkert hvordan nedre voksegrense varierer mellom økoregioner og lokalt avhengig av ulike miljøvariable som bølger, strøm, helning og himmelretning.

Tabell 5. Verdier for ulike kvalitetsegenskaper for stortare i naturtilstand gitt ved gjennomsnittverdier og variasjonsmål ( $\pm 2$  standardfeil) for de fire områdene Nord-Norge (lat=70, long=18), Midt-Norge (lat=64, long=9,0), Vestlandet (lat=60, long=5,0) og Skagerrak (lat=58,5, long=9,0), for lav og høy bølgeeksponering (henholdsvis swm=100 000 og 500 000, Isæus 2004) og for dyp på under- og over 10 m. De estimerte verdiene er basert på bruk av 5 og 15 meter som representant for de to dybdeklassene. Lengdemål er gitt i cm og vekt mål i gram. Tetthet er gitt i antall planter per m<sup>2</sup>.

Område	Eksp.	Dyp	Blad-lengde	Blad-vekt	Påvekst-algevekt	Hapter-vekt	Stilk-lengde	Stilk-vekt	Tetthet	Total-vekt
Skager-rak	Lav	<10	81(8)	249(72)	5(4)	22(8)	39(18)	41(16)	11(2)	289(92)
		>10	54(10)	87(26)	2(2)	9(4)	12(18)	14(6)	5(2)	99(34)
	Høy	<10	83(8)	274(80)	8(6)	43(16)	57(18)	81(30)	14(2)	442(134)
		>10	56(10)	96(30)	4(2)	19(8)	31(18)	27(10)	8(2)	152(48)
Vest-landet	Lav	<10	69(8)	312(98)	20(16)	58(22)	69(16)	102(44)	10(2)	478(166)
		>10	42(10)	109(38)	9(8)	25(12)	43(18)	34(16)	3(2)	164(64)
	Høy	<10	71(8)	344(102)	35(28)	116(42)	88(14)	201(84)	13(2)	730(240)
		>10	44(10)	120(40)	16(14)	49(22)	61(16)	67(32)	7(2)	251(92)
Midt-Norge	Lav	<10	73(8)	466(132)	192(198)	99(34)	90(14)	276(110)	9(2)	878(272)
		>10	46(12)	163(56)	86(98)	42(18)	64(16)	92(44)	3(2)	302(110)
	Høy	<10	75(8)	513(118)	338(338)	197(66)	109(12)	543(194)	13(2)	1341(368)
		>10	48(10)	180(54)	151(170)	84(36)	82(14)	180(78)	6(2)	461(150)
Nord-Norge	Lav	<10	87(8)	651(204)	21(16)	156(60)	81(16)	282(122)	10(2)	1092(372)
		>10	61(10)	228(78)	9(8)	66(30)	55(18)	94(44)	3(2)	375(138)
	Høy	<10	90(8)	717(224)	37(30)	309(122)	99(18)	555(242)	13(2)	1667(574)
		>10	63(10)	251(86)	17(14)	132(60)	73(18)	184(86)	7(2)	572(212)

### 4.3 Forslag til en samlet indeks for naturtilstand til stortare

Analysene i dette prosjektet gjør det mulig å lage en samlet indeks for naturtilstand for stortare basert på alle, eller et utvalg av de målte egenskapene til tareskog. Og siden det er hensiktsmessig å ha kun én indikator for stortare i naturindeksen, må disse egenskapene sees i sammenheng med den eksisterende stortareindikatoren, som er en indeks på naturtypens utbredelse. Vi foreslår her en forenklet indeks som tar hensyn til både egenskaper knyttet til tareplantene og til tareskogens arealutbredelse.

For å forenkle indeksen er det nødvendig å velge ut noen få av de målte parameterne, og samtidig velge parametere som vil fange opp framtidig utvikling på grunn av endringer i klima, eutrofiering eller kråkebollebeiting. Siden tares størrelse og mengde påvekstalter er viktige for den økologiske funksjonen til tareskog er dette viktige parametere som må inkluderes i en beskrivelse av naturtilstanden. For å kunne fange opp at tareskogen avviker fra vanlig til tett forekomst, bør også tetthet inkluderes i indeksen, selv om antall planter per m<sup>2</sup> i liten grad ble forklart av faktorene dyp, grad av bølgeeksponering og breddegrad. Andre fysiske faktorer som substrattypen og -helningsgrad kan påvirke tettheten til stortareplanter, i tillegg til lokale forskjeller i tilførsler av taresporer og biologiske interaksjoner som konkurranse om plass med andre arter (både planter og dyr) og beiting.

Vi foreslår å lage en indeks med utgangspunkt i stortarens stilk lengde, mengde påvekstalter og tetthet av stortare, og at denne egenskapsbaserte indeksen blir vektet med arealutbredelse.

Vi bruker samme framgangsmåte som i vanndirektivet, og beregner normaltilstanden til stortare for hver av de tre valgte parameterne. Normaltilstanden settes lik modellert verdi gitt et områdes breddegrad, dyp og bølgeeksponering. Dette kan gjøres på et detaljeringsnivå lik 25x25 m for alle norske kystområder. Vi kan da produsere kartlag (GIS-lag) for hver av de 3 parameterne, som dermed beskriver naturtilstanden for parameterne gitt data fra perioden 1990-2012. Vi får dermed et referansegrunnlag til å kunne vurdere framtidige endringer i utviklingen av stortare mot. Med utgangspunkt i dette foreslår vi at indikatorverdien til stortareskog og dens komponenter kan beregnes som:

$$\text{Stilk lengdeindeks (S)} = a \times \frac{\text{stilk lengde}_{\text{målt}}}{\text{stilk lengde}_{\text{ref}}}$$

$$\text{Påvekstalgeindeks (P)} = b \times \frac{\text{påvekstalger}_{\text{målt}}}{\text{påvekstalger}_{\text{ref}}}$$

$$\text{Tetthetsindeks (T)} = c \times \frac{\text{tetthet}_{\text{målt}}}{\text{tetthet}_{\text{ref}}}$$

$$\text{Stortareindeks} = (S + P + T) \times \frac{\text{arealutbredelse}}{\text{arealutbredelse}_{\text{ref}}}$$

der a, b og c er vektene til hver enkelt parameter som kan settes like (i.e. 1/3), eller som kan være forskjellige i ulike økoregioner, basert på subjektive betraktninger. Summen av vektene må være lik 1. I hver av delindeksene for stilk lengde, påvekstalger og tetthet inngår en referanseverdi som er modellert frem i utviklingsprosjektet basert på dyp, eksponering og breddegrad. Dette er en annen referanseverdi enn den som rapporteres i NI-basen, og brukes kun til å beregne forventet stilk lengde etc. for ulike områder.

Dette innebærer at referansetilstanden for stortarens egenskaper settes lik gjennomsnittsverdien til egenskapen  $\pm 2$  standardfeil. Null avvik fra referansetilstanden for alle de inkluderte parameterne gir at referansetilstanden til den nye indikatoren blir 1x ref. tilstanden til arealutbredelsen, dvs. vi får den samme referansetilstanden som for den gamle stortareindikatoren; 100 % (Oug m.fl. 2012).

Indikatoren vil gi verdi 100 for områder som har tilstand lik referansetilstand og  $< 100$  for områder som har negativ utvikling i forhold til referansetilstand. Områder som har spesiell velutviklet tare eller en positiv utvikling i forhold til referansetilstand, f.eks. på grunn av positive klimaeffekter for stortare, vil få en verdi  $> 100$ . Denne positive effekten vil imidlertid ikke bli fanget opp i naturindeksen, på grunn av den såkalte LOW-modellen i naturindeksens utregninger (Pedersen m.fl. 2012a).

Denne metoden gjør det mulig å vekte betydningen av hver enkelt parameter ulikt i ulike økoregioner. Tetthet kan for eksempel vektes høyere enn de to andre tareegenskaps-parameterne i Nord-Norge på grunn av kråkebollebeitingen og dermed gi økt betydning av tetthet i denne regionen. Metoden er også fleksibel ved at en kan inkludere ytterligere tareegenskaper om ønskelig (f. eks. forholdet mellom stilk og bladvekt) uten å endre referansetilstanden, men ved å kunne inkludere ny kunnskap til å kunne følge framtidig utvikling av stortareskogen som økosystem.

Denne metoden gjør det også mulig å gradere avviket fra naturtilstanden, på en lignende måte som i Vanndirektivet, i forhold til størrelsen på endringen (f. eks. liten, moderat, svært stor endring).

## 4.4 Vil indeksen fange opp effekten av viktige påvirkningsfaktorer for stortare?

### Temperaturokninger

I følge Smale m. fl. (2013) vil tareskogenes utbredelse kunne forskyves nordover ved temperaturokninger. I de sørligste delene av utbredelsesområdet vil tareplantene stå mindre tett og bli mindre av vekst, og indeksen vil fange opp dette.

### Kråkebollebeiting

Den grønne kråkebollen (*Strongylocentrotus droebachiensis*) kan beite tareskogen fullstendig ned og der kråkebollene dominerer er tetthet av stortare lik null. Beiting av kråkeboller finnes ut til en bølgeeksponeringsgrad på 500 000 swm, og innover i hele stortarens leveområde til sukkertare overtar rundt 100 000 swm. Nedbeitingen har foregått langs hele kysten fra ca. 63°N og nordover, men siden ca. 1990 har kråkebollene gradvis blitt redusert fra kysten av Sør-Trøndelag og nordover og gjenvekst av tare er nå funnet til nord for Polarsirkelen (Norderhaug & Christie 2009, egne observasjoner i 2011 og 2012). Denne reetableringen av stortareskog er flekkvis og det finnes fortsatt områder dominert av kråkeboller. I områdene der gjenvekst av tare har foregått relativt nylig, vil flere pionerarter dominere og det tar noen år før stortare kan komme tilbake til naturtilstand med voksne planter i tett skog. Ved å inkludere tetthet i beregningen av økologisk tilstand til stortaren vil indeksen fange opp reduserte tettheter som skyldes beiting av kråkeboller.

Røde kråkeboller (*Echinus esculentus*) forekommer ofte i stortareskog, og beiter på påvekstalgene på tarestilken. Normalt er mengden av røde kråkeboller lav i tareskog (Røv m. fl. 1990, Skadsheim m. fl. 1993, 1995, Christie & Rinde 1995), men i enkelte tilfeller kan tettheten være såpass høy at de kan redusere mengden av påvekstalger på tarestilken. Dette er særlig observert i etterkant av at de grønne kråkebollene har dødd ut i Midt-Norge (Sjøtun m. fl. 2006, Norderhaug & Christie 2009, Angeltveit 2013). Slik reduksjon av påvekstalger vil medføre redusert forekomst av smådyr og dermed redusert tilstand og økologisk funksjon. Nedbeiting av makroalger forårsaket av *Echinus acutus* er også observert i norske farvann, men dette skjer særlig i fjordområder lenger inn på kysten enn der man finner stortare. Inkludering av mengde påvekstalger i den samlede indeksen for stortare sikrer at den negative effekten av røde kråkebollers beiting på påvekstalger blir fanget opp i stortareindeksen.

### Taretråling

Taretråling forekommer fra Rogaland til Trøndelag og fjerner de store plantene og påfølges normalt av en rask gjenvekst av de små tareplantene som står tilbake i undervegetasjonen etter høstingen. Reetableringen av selve tareskogen skjer i løpet av 3-4 år, men denne tareskogen består ofte av en tett og homogen sammensetning av like tareplanter. En slik tett tareskog vil sannsynligvis ha redusert mengde med påvekstalger. Liknende tilstander kan man få etter stormer som river bort store tareplanter i bølgeutsatte områder. Slike homogene tareskoger vil over tid utvikle seg til mer normal tareskog med mer heterogen alderssammensetning og frodige påvekstalger. Ved å inkludere stortarens tetthet og mengde påvekstalger i beregningen av stortarens økologisk tilstand, vil denne fange opp avvik fra naturtilstanden som skyldes taretråling.

### Grenseverdier for bølgeeksponering

Ved for stor grad av bølgeeksponering vil stortare bli avløst av mer robuste arter eller man får redusert alder og størrelse på stortareplantene i de øverste meterne der bølgeenergien er for høy. På for bølgebeskyttede lokaliteter vil andre arter overta dominansen. Her finnes stortaren mer flekkvis og bladet er ofte mer begrodd og slitt. Det bør settes grenseverdier for øvre og nedre grad av bølgeeksponering der den foreslåtte indikatoren skal gjelde.

## 5. Referanser

- Abdullah M.I. og Fredriksen, S. 2004. Production, respiration and exudation of dissolved organic matter by the kelp *Laminaria hyperborea* along the west coast of Norway. J. Biol. Ass. UK 84: 887-894.
- Andersen G.S. 2007. Kelp associated floral epiphytes - Productivity and community structure in relation to wave exposure and season. Masteroppgave ved Biologisk Institutt, University of Oslo.
- Angeltveit G. 2013. Påvekstalter på stortare (*Laminaria hyperborea*) - Variasjon i makroalgetetthet på stortarestilker i forhold til miljøvariabler og tettheten av røde kråkeboller (*Echinus esculentus*), Masteroppgave ved Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo.
- Bekkby T., Bodvin T., Bøe R., Moy F.E., Olsen H., og Rinde E. 2011. Nasjonalt program for kartlegging og overvåking av biologisk mangfold - marint. Sluttrapport for perioden 2007-2010. NIVA-rapport 6105, 31 s.
- Bekkby T., Rinde E., Erikstad L. og Bakkestuen V. 2009. Spatial predictive distribution modelling of the kelp species *Laminaria hyperborea*. ICES J. Mar. Sci. 66: 2106-2115.
- Bekkby T., Rinde E., Gundersen H., Norderhaug K.M., Gitmark J. og Christie H. 2014. Length, strength and water flow - the relative importance of wave and current exposure on kelp *Laminaria hyperborea* morphology. Mar. Ecol. Prog. Ser. (in press)
- Christie H., Fredriksen S. og Rinde E. 1998. Regrowth of kelp and colonisation of epiphyte and fauna community after kelp trawling at the coast of Norway. Hydrobiol. 375/376: 49-58.
- Christie H., Jørgensen N.M. og Norderhaug K.M. 2007. Bushy or smooth, high or low; Importance of habitat architecture and vertical level for distribution of fauna on kelp. J. Sea Res. 58: 198-208.
- Christie H., Jørgensen N.M., Norderhaug K.M. og Waage-Nielsen. E. 2003. Species distribution and habitat exploitation of fauna associated with kelp (*Laminaria hyperborea*) along the Norwegian coast. J. Mar. Biol. Ass. UK 83:687-699.
- Christie H., Norderhaug K.M. og Fredriksen S. 2009. Macrophytes as habitat for fauna. Mar. Ecol. Prog. Ser. 396: 221-233.
- Christie H. og Rinde E. 1995. Endringer i kråkebolleforekomst, kråkebolleparasitt og bunnalgevegetasjon langs kysten av Midt-Norge. NINA Oppdragsmelding 359: 1-39.
- Eilertsen M., Norderhaug K.M., Sjøtun K. 2011. Does the composition of amphipods associated to epiphytes on kelp (*Laminaria hyperborea*) change with depth? Mar. Biol. 7: 224-234.
- Estes J.A., Tinker M.T., Williams T.M., Doak D.F. 1998. Killer whale predation on sea otters linking oceanic and nearshore ecosystems. Science 282: 473-476.
- Gundersen H., Christie H. og Rinde E. 2010. Perspektivstudie av kråkeboller - fra problem til ressurs. Analyse av ressursgrunnlaget for høsting av kråkeboller og vurdering av økologiske perspektiver knyttet til høstingen. NIVA-rapport 6001-2010, 19 s.
- Gundersen H., Christie H., de Wit H., Norderhaug K.M., Bekkby T. og Walday M.G. 2011. Utredning om CO<sub>2</sub>-opptak i marine naturtyper. NIVA-rapport 6070-2010, 26 s.
- Isæus M. 2004. Factors structuring *Fucus* communities at open and complex coastlines in the Baltic Sea. Dr. gradsavhandling, Botanisk institutt, Stockholms universitet, 165 s.
- Jørgensen N.M. og Christie H. 2003. Diurnal, horizontal and vertical dispersal of kelp-associated fauna. Hydrobiol. 503: 69-76.
- Kain J.M. 1963. Aspects of the biology of *Laminaria hyperborea*. II. Age, weight and length. J. Mar. Biol. Ass. UK 43: 129-151.
- Kain J.M. 1967. Populations of *Laminaria hyperborea* at various latitudes. Helgol. Meeresunt. 15: 489-499.
- Kain J.M. 1971a. The biology of *Laminaria hyperborea* VI. Some Norwegian populations. J. Mar. Biol. Ass. UK 51: 387-408.
- Kain J.M. 1971b. Synopsis of biological data on *Laminaria hyperborea*. FAO Fish Synop. 87.
- Kain J.M. 1979. A view of the genus *Laminaria*. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 17: 101-161.
- Krumhansl K.A. og Scheibling R.E. 2012. Production and fate of kelp detritus. Mar. Ecol. Prog. Ser. 467: 281-302.

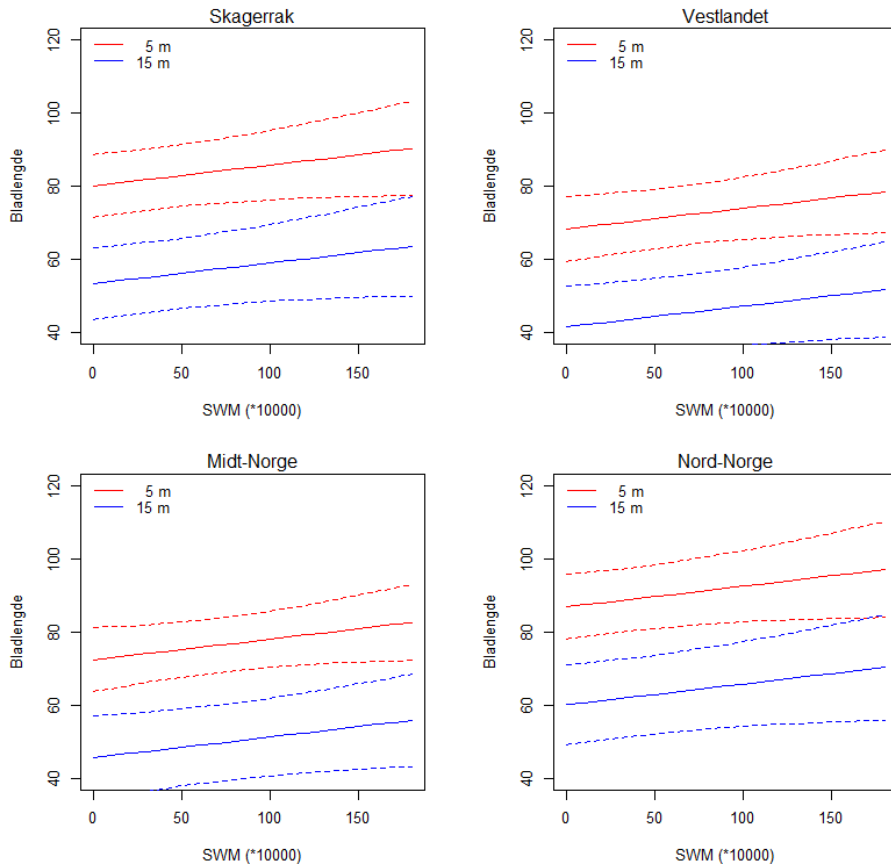
- Ling S.D. og Johnson C.R. 2009. Population dynamics of an ecologically important range-extender: kelp beds versus sea urchin barrens. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 374: 113-125.
- Marstein A.C. 1997. Epiphytic algae on kelp stipes from Vega – an area with varying densities of sea urchins. *Blyttia* 3: 123-129.
- Moore P.G. 1986. Levels of heterogeneity and the amphipod fauna of kelp holdfasts. I: Moore P.G. og Seed R. (red.). *The ecology of rocky coasts*, s. 274-290. Columbia University Press, New York.
- Moy F.E. 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.
- Norderhaug K.M. og Christie H. 2009. Sea urchin grazing and kelp re-vegetation in the NE Atlantic. *Mar. Biol. Res.* 5: 515-528.
- Norderhaug K.M. og Christie H. 2011. Secondary production in a *Laminaria hyperborea* kelp forest and variation according to wave exposure. *Est. Coast Shelf Sci.* 95: 135-144.
- Norderhaug K.M., Christie H., Andersen G.S. og Bekkby T. 2012. Does the diversity of kelp forest macrofauna increase with wave exposure? *J. Sea Res.* 69: 36-42.
- Norderhaug K.M., Christie H., Fosså J.H. og Fredriksen S. 2005. Fish-macrofauna interactions in a kelp (*Laminaria hyperborea*) forest. *J. Mar. Biol. Ass. UK* 85: 1279-1286.
- Norderhaug K.M., Christie H. og Fredriksen S. 2007. Space limitation in a Norwegian kelp *Laminaria hyperborea* forest? Evidence from using artificial habitats. *J. Sea Res.* 58: 120-124.
- Norderhaug K.M., Christie H., Gundersen H., Rinde E. og Bekkby T. 2014. The importance of wave and current exposure to fauna communities in kelp forest habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* (in press)
- Norderhaug K.M., Fredriksen S. og Nygaard K. 2003. The trophic importance of *Laminaria hyperborea* to kelp forest consumers and the importance of bacterial degradation for food quality. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 255: 135-144.
- Norderhaug K.M., Christie H. og Rinde E. 2002. Colonisation of kelp imitations by epiphyte and holdfast fauna; a study of mobility patterns. *Mar. Biol.* 141:965-973.
- Norderhaug K.M., Nygaard K. og Fredriksen S. 2006. Importance of phlorotannin content and C : N ratio of *Laminaria hyperborea* in determining its palatability as food for consumers. *Mar. Biol. Res.* 2: 367-371.
- Nybø S. 2010. Naturindeks for Norge. DN-utredning 3-2010.
- Oug E., Kroglund T., Pedersen A., Rinde E., Tveiten L. og Moy F. 2010. Makroalger. I: Nybø, S. (red). 2010. Datagrunnlaget for «Naturindeks i Norge 2010». DN-utredning 4-2010.
- Pedersen B., Nybø S. og Skarpaas O. 2012a. Naturindeksens økologiske rammeverk. NINA Minirapport 428. 29 s.
- Pedersen M.F., Nejrup L.B., Fredriksen S., Christie H. og Norderhaug K.M. 2012b. Effects of wave exposure on population structure, demography, biomass and productivity in kelp, *Laminaria hyperborea*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 451: 45-60.
- R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Østerrike.
- Rinde E. 2007. Studies of processes in *Laminaria hyperborea* kelp forest ecosystems, contribution to a scientifically based resource management Dr. Scient thesis, University of Oslo. 127 s.
- Rinde E., Christie H., Bekkby T. og Bakkestuen V. 2006. Økologiske effekter av taretråling. Analyser basert på GIS-modellering og empiriske data. NIVA-rapport 5150-2006. 31 s.
- Rinde E. og Sjøtun K. 2005. Demographic variation in the kelp *Laminaria hyperborea* along a latitudinal gradient. *Mar. Biol.* 146: 1051-1062.
- Røv N., Christie H., Fredriksen S., Leinaas H.P. og Lorentsen S.H. 1990. Biologiske forundersøkelser i forbindelse med planer om taretråling i Sør-Trøndelag. NINA Oppdragsmelding 52: 1-20.
- Schoschina E.V. 1997. On *Laminaria hyperborea* (Laminariales, Phaeophyceae) on the Murman coast of the Barents Sea. *Sarsia* 82: 371-373.
- Schultze K., Janke K., Krüß A. og Weidemann W. 1990. The macrofauna and macrofauna associated with *Laminaria digitata* and *L. hyperborea* at the island of Helgoland (German Bight, North Sea). *Helgol. Meeresunt.* 44: 39-51.
- Sjøtun K., Christie H. og Fosså J.H. 2006. Effects of kelp recruitment and sea urchin grazing on stability in kelp forest (*Laminaria hyperborea*). *Mar. Biol. Res.* 2: 24-32.

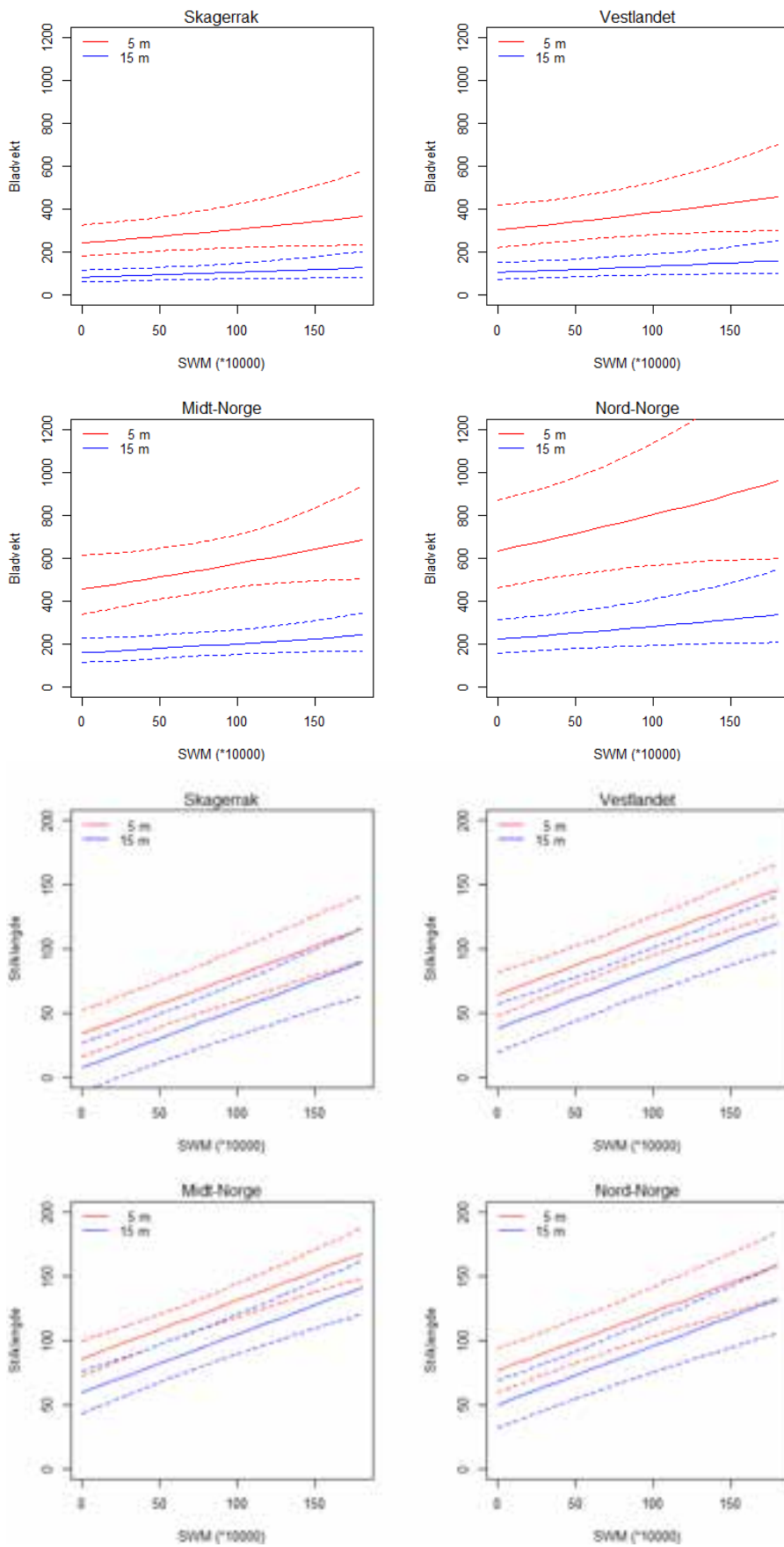


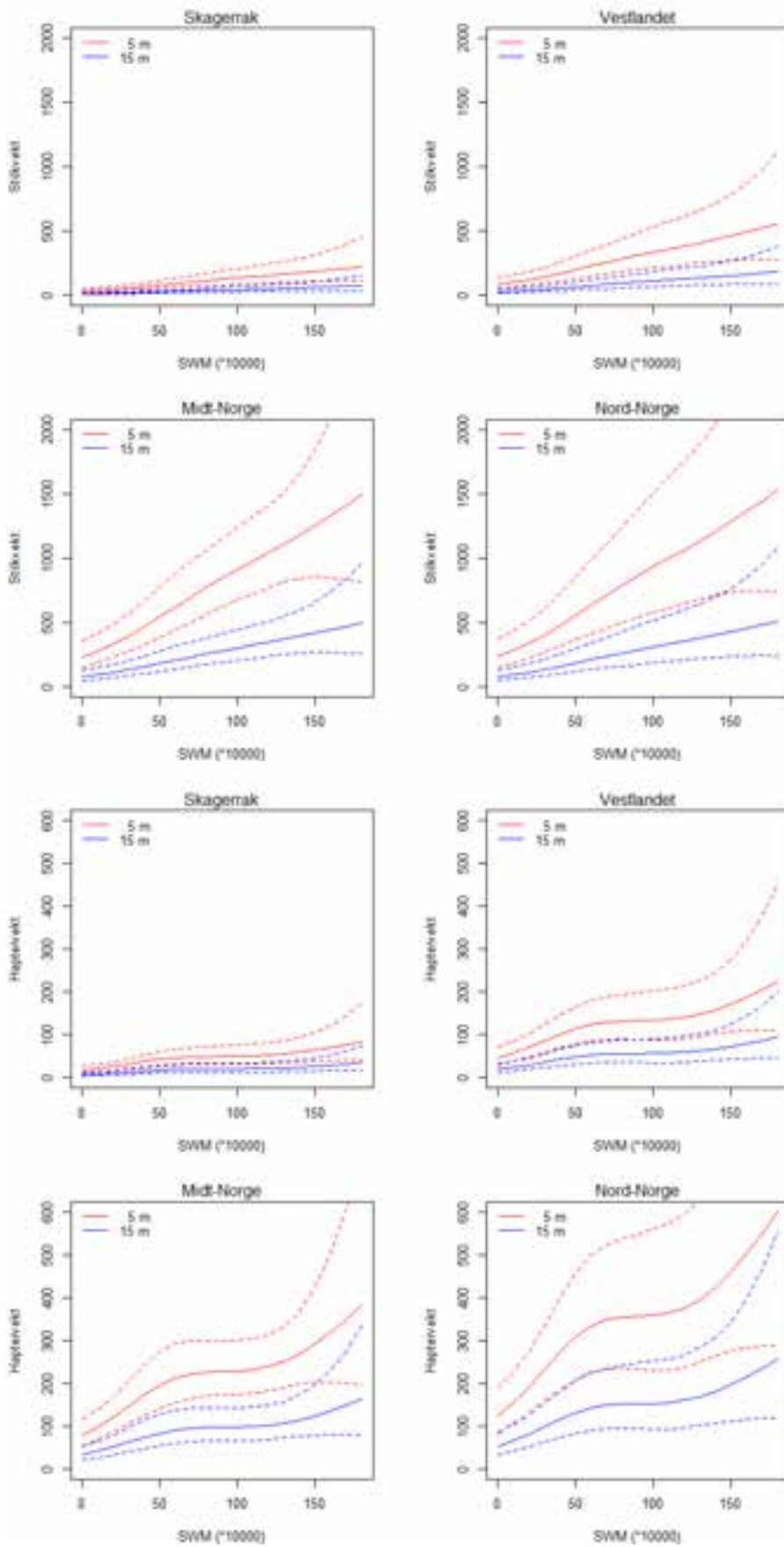
- Sjötun K., Fredriksen S., Lein T.E., Rueness J. og Sivertsen K. 1993. Population studies of *Laminaria hyperborea* from its northern range of distribution in Norway. *Hydrobiol.* 260/261: 215-221.
- Sjötun K., Fredriksen S. og Rueness J. 1996. Seasonal growth and carbon and nitrogen content in canopy and first-year plants of *Laminaria hyperborea* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycol.* 35:1-8.
- Sjötun K., Fredriksen S. og Rueness J. 1998. Effect of canopy biomass and wave exposure on growth in *Laminaria hyperborea* (Laminariaceae: Phaeophyta). *Eur. J. Phycol.* 33: 337-343.
- Sjötun K., Fredriksen S., Rueness J. og Lein T.E. 1995. Ecological studies of the kelp *Laminaria hyperborea* (Gunnerus) Foslie in Norway. In: Skjoldal, H.R., Hopkins, C., Erikstad, K.E. og Leinaas, H.P. (red.). Ecology of fjords and coastal waters. Elsevier, Amsterdam.
- Skadsheim A., Christie H. og Leinaas H.P. 1995. Population reduction of *Strongylocentrotus droebachiensis* (Echinodermata) in Norway and possible relationships to its endoparasite *Echinomermella matsi* (Nematoda). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 119: 199-209.
- Skadsheim A., Rinde E. og Christie H. 1993. Forekomst og endringer i kråkebolletetthet, kråkebolleparasitt og gjenvekst av tareskog langs norskekysten fra Trøndelag til Troms. NINA Oppdragsmelding 258: 1-39.
- Smale D.A., Burrows M.T., Moore P., O'Connor N. og Hawkins S.J. 2013. Threats and knowledge gaps for ecosystem services provided by kelp forests: a northeast Atlantic perspective. *Ecol. Evol.* 3: 4016-4038.
- Steneck R.S., Leland A., McNaught D.C. og Vavrinc J. 2013. Ecosystem flips, locks, and feedbacks: the lasting effects of fisheries on Maine's kelp forest ecosystem. *Bull. Mar. Sci.* 89: 1-25.
- Steneck R.S., Vavrinc J. og Leland A.V. 2004. Accelerating trophic-level dysfunction in kelp forest ecosystems of the western North Atlantic. *Ecosyst.* 7: 323-332.
- Vigander H. 2007. Epifyttiske alger på *Laminaria hyperborea* (Gunn.) Foslie kartlagt langs en dybdegradient fra Skipsholmen på Mørekyten. Masteroppgave ved Biologisk Institutt, Universitetet i Oslo.
- Waage-Nielsen E., Christie H. og Rinde E. 2003. Short term dispersal of kelp fauna to cleared (kelp harvested) areas. *Hydrobiol.* 503: 77-91.
- Woll A.K., van der Meeren G.I. og Fossen I. 2006. Spatial variation in abundance and catch composition of *Cancer pagurus* in Norwegian waters: biological reasoning and implications for assessment. *ICES J. Mar. Sci.* 63: 421-433.
- Wood S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *J. Royal Stat. Soc. (B)* 73: 3-36.

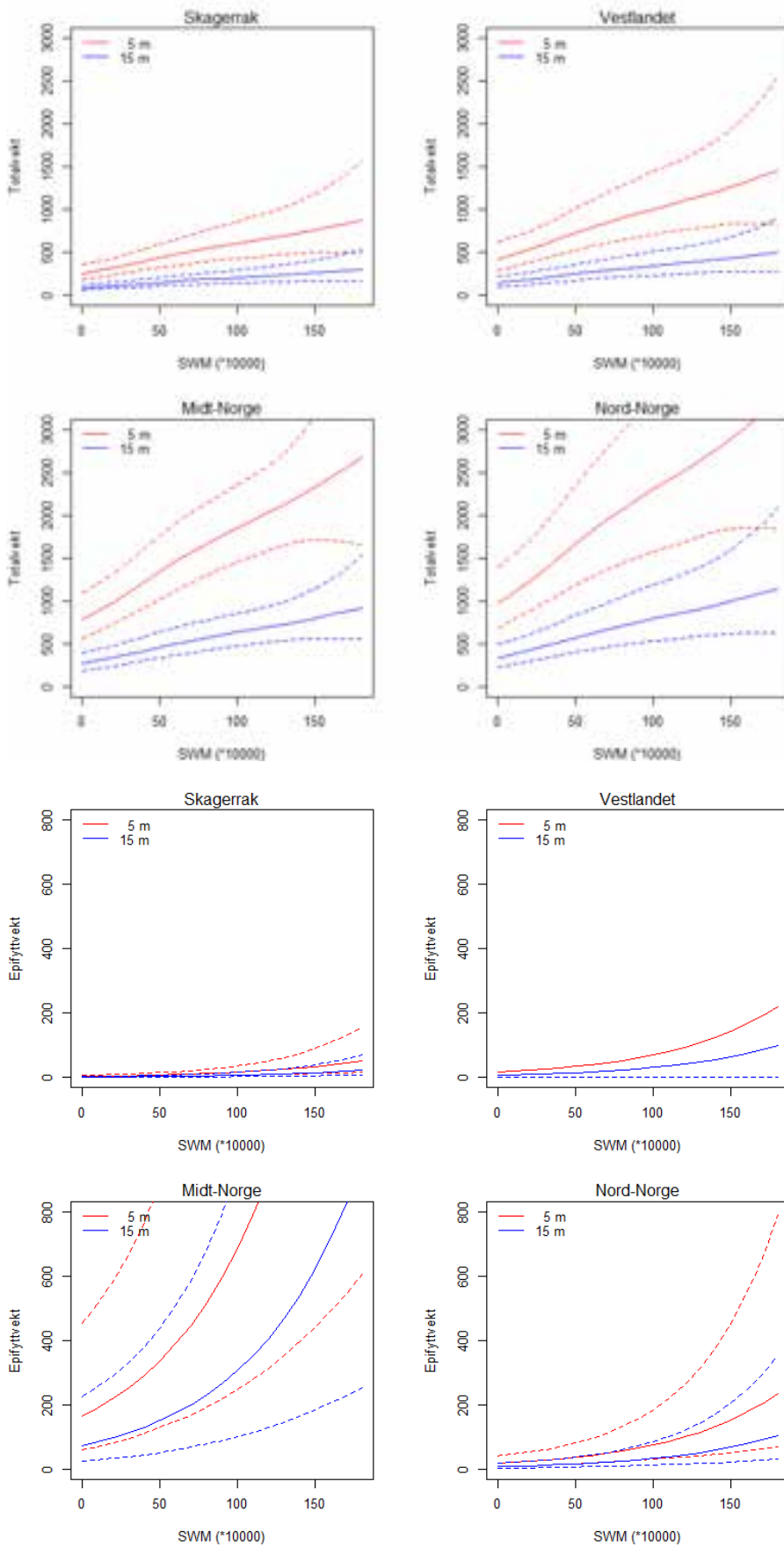
## 6. Vedlegg 1 – Variasjon i egenskaper

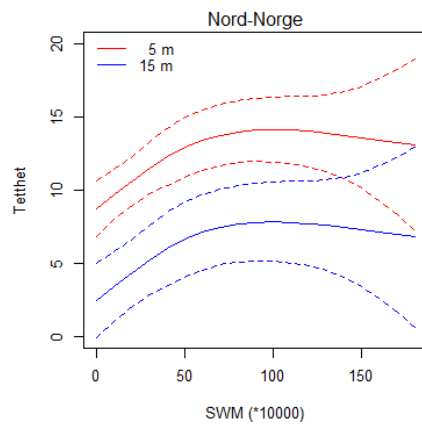
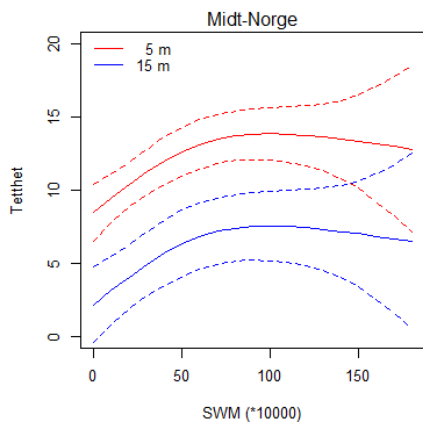
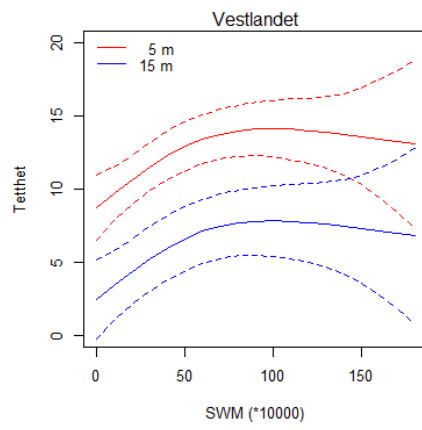
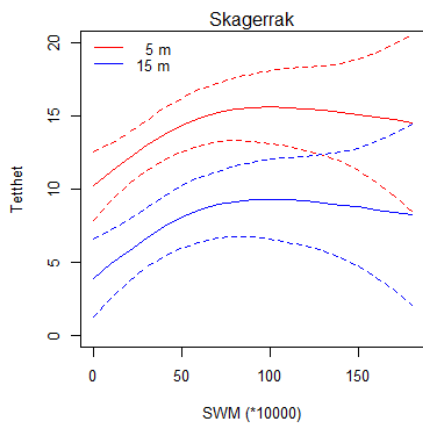
Variasjon i stortarens egenskaper bladlengde, bladvekt, stilkengde, stilkvekt, haptervekt, totalvekt, mengde påvekstalter og tetthet ( $\pm 2$  standardfeil) langs en bølgeeksponeringsgradient, for 4 geografiske områder representert ved Skagerrak (lat=58,5; long=9,0), Vestlandet (lat=60,0; long=5,0), Midt-Norge (lat=64,0; long=9,0) og Nord-Norge (lat=70,0; long=18,0), og for to dyp (5 – rød linje og 15 m – blå linje) per område.











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](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)