

OC2017 A-200 - Åpen

Rapport

Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag

Forfatter(e)

Ole Jacob Broch, Rachel Tiller, Jorunn Skjermo, Aleksander Handå



SINTEF Ocean

Postadresse:
Postboks 4762 Torgard
7465 Trondheim

Sentralbord: 46415000
Telefaks: 93270701

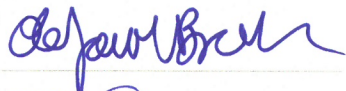

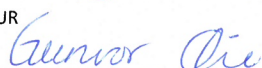
ocean@sintef.no
www.sintef.no
Foretaksregister: NO 937 357 370 MVA

EMNEORD:

Havmodellering
Akvakultur
Makroalger
Lokalisering
Dyrkingspotensial
Industriell dyrking
Arealplanlegging
Næringsutvikling

Rapport

Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag

VERSJON 2	DATO 2. oktober 2017
FORFATTER(E) Ole Jacob Broch, Rachel Tiller, Jorunn Skjermo, Aleksander Handå	
OPPDRAKSGIVER(E) Trøndelag fylkeskommune	OPPDRAKSGIVERS REFERANSE Sigurd Bjørge
PROSJEKT 302002643 (TAREAL Trøndelag)	ANTALL SIDER OG VEDLEGG 61
SAMMENDRAG Rapporten er en utredning om potensialet for storskala dyrking av makroalger i Trøndelag. Dyrking av makroalger både innenfor og utenfor grunnlinjen blir vurdert. De nye forskningsresultatene er basert på simuleringer med en koblet fysisk-biologisk havmodell og på dybdeintervjuer med representanter fra makroalgenæringen i Trøndelag. Hovedresultatene og -konklusjonene blir gjennomgått i et utvidet sammendrag. Resultatene vil kunne være nyttige i arbeid med areal - og forvaltningsplaner og for marin næringsutvikling i Trøndelag. De vil også være relevante og interessante for eksisterende og fremtidige aktører innen makroalgenæringen.	
UTARBEIDET AV Ole Jacob Broch	SIGNATUR 
KONTROLLERT AV <i>for M. Alver</i> Morten O. Alver	SIGNATUR 
GODKJENT AV Gunvor Øie	SIGNATUR 
RAPPORTNUMMER OC2017 A-200	ISBN 978-82-7174-319-2
GRADERING Åpen	GRADERING DENNE SIDE Åpen



Forsidebildet viser dyrkingsanlegget til Seaweed Energy Solutions, Taraskjæret, ved Frøya

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	31.08.2017	Ikke kvalitetssikret utkast til oppdragsgiver
0.2	14.09.2017	Ikke kvalitetssikret utkast til oppdragsgiver
0.3	20.09.2017	Versjon til intern kvalitetssikring
0.4	22.09.2017	Kvalitetssikret versjon til oppdragsgiver
1	26.09.2017	Kvalitetsikret og godkjent rapport
2	02.10.2017	Noen mindre feil og mangler rettet opp

Innhold

Sammendrag	5
Summary in English	7
1 Innledning	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Oppdragsbeskrivelse og oversikt over rapporten	10
2 Metodikk	10
2.1 Numerisk havmodellering	11
2.1.1 Vekstmodell for makroalger	12
2.1.2 Simuleringer	14
2.1.3 Beregning av produksjonspotensial og vurdering av velegnede områder for makroalgedyrking	14
2.2 Dybdeintervjuer om trender og utvikling i tang- og tare-industrien i Trøndelag	15
3 Potensialet for makroalgedyrking i Trøndelag	16
3.1 Grunnlaget for primærproduksjon langs trøndelagskysten	16
3.2 Dyrking av makroalger og aktuelle arter for dyrking i Trøndelag	19
3.3 Gode områder for makroalgedyrking i Trøndelag	20
3.4 Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag	22
3.4.1 Sokkelen utenfor kysten	26
3.4.2 Hitra, Frøya og Frohavet	26
3.4.3 Trondheimsfjorden	29
3.4.4 Fosenkysten	30
3.4.5 Nord-Trøndelag (utenom Trondheimsfjorden)	30
3.4.6 Andre aspekter ved biomasse fra dyrkede makroalger	33
3.5 Arealkonflikter og -behov	33
3.6 Andre estimater for dyrkingspotensial for makroalger	34
3.7 Hvor stor del av dyrkingspotensialet er realiserbart?	35
3.8 Modellresultatenes begrensninger og deres gyldighet	36
4 Makroalgeindustrien i Trøndelag	37
4.1 Trender og utvikling innen norsk makroalgeindustri	38
4.1.1 Historie, trender og utvikling	38
4.1.2 Utfordringer og konflikter	40
4.1.3 Fremtiden og muligheter	42
4.2 Muligheter ved og behov for forskning og utdanning i Trøndelag	42
5 Konklusjoner og anbefalinger	44
Referanser	45
Tillegg A Koblet hydrodynamikk-økologi-tare-modell (SINMOD)	49
A.1 Beregning av produksjonspotensial og vurdering av velegnede områder for makroalgedyrking	49
A.1.1 Indeks for grunnleggende potensial for dyrking av sukkertare	50
A.1.2 Grov indeks over dyrkingspotensialet for <i>Palmaria palmata</i>	51
A.1.3 Biomasseestimater	51
Tillegg B Intervjuguide for dybdeintervjuene med representanter for tarenæringen	53

Tillegg C	Noen tilleggsresultater	56
Tillegg D	Dyrkingsforsøk	61

VEDLEGG

Ingen

Sammendrag

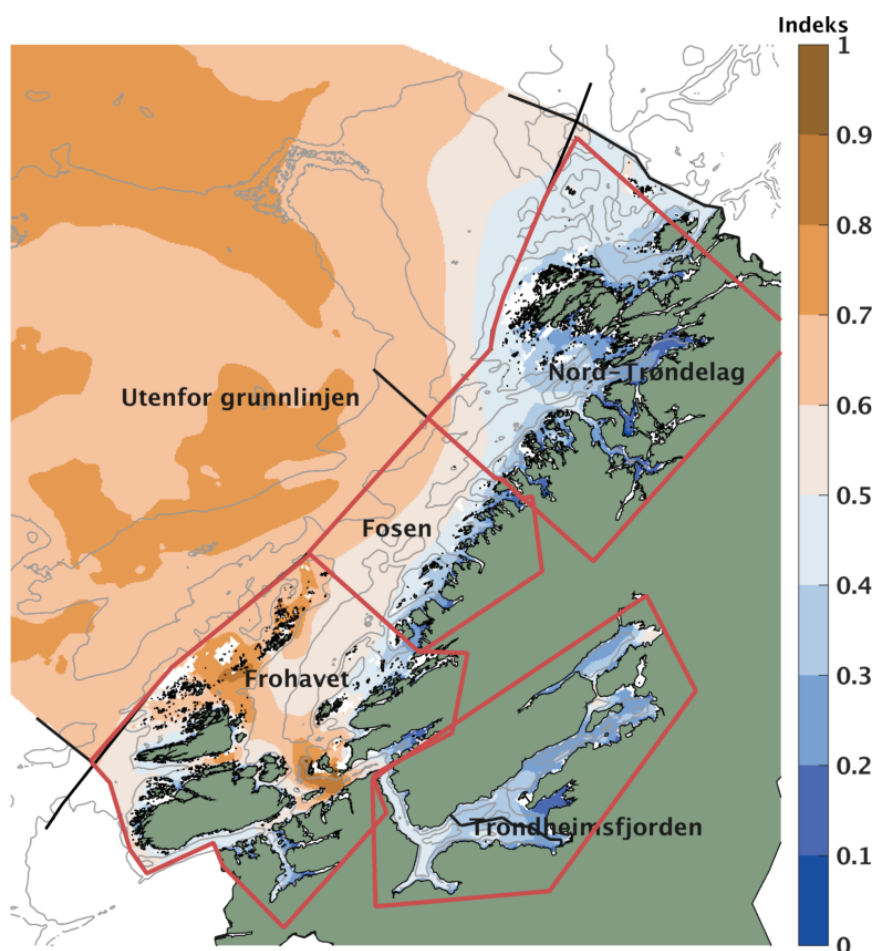
Denne rapporten er skrevet på oppdrag av Trøndelag fylkeskommune. Hovedmålene med arbeidet har vært å:

- kartlegge gode områder for makroalgedyrking i Trøndelag og utrede dyrkingspotensialet;
- undersøke status og fremtidsutsikter for makroalgenæringen i fylket.

Til å identifisere gode områder for dyrking og å estimere dyrkingspotensialet er det benyttet en numerisk havmodell (SINMOD) med en modul for vekst og sammensetning hos sukkertare. Statusen for makroalgenæringen er kartlagt gjennom dybdeintervjuer.

I grove trekk tyder modellresultatene på at det grunnleggende potensialet for makroalgedyrking i og utenfor Trøndelag er best et stykke ut fra kysten og på sokkelen utenfor grunnlinjen. De beste kystnære områdene for makroalgedyrking ser ut til å ligge rundt den sørlige delen av Frohavet. Gode områder ligger rundt Froan, i Dolmsundet, rundt Storfosna og Leksafjorden. Flere områder her er bedre enn på sokkelen utenfor grunnlinjen.

Det er mange interesser å ta hensyn til, spesielt innenfor grunnlinjen i Trøndelag. Likevel er det rundt 7000 km² tilgjengelig innenfor grunnlinjen der makroalgeanlegg ikke vil komme i konflikter med interessert som farled, fiskeri, offshorevirksomhet eller akvakultur. Det er god tilgang på areal, også blant de potensielt beste dyrkingsområdene over hele fylket.

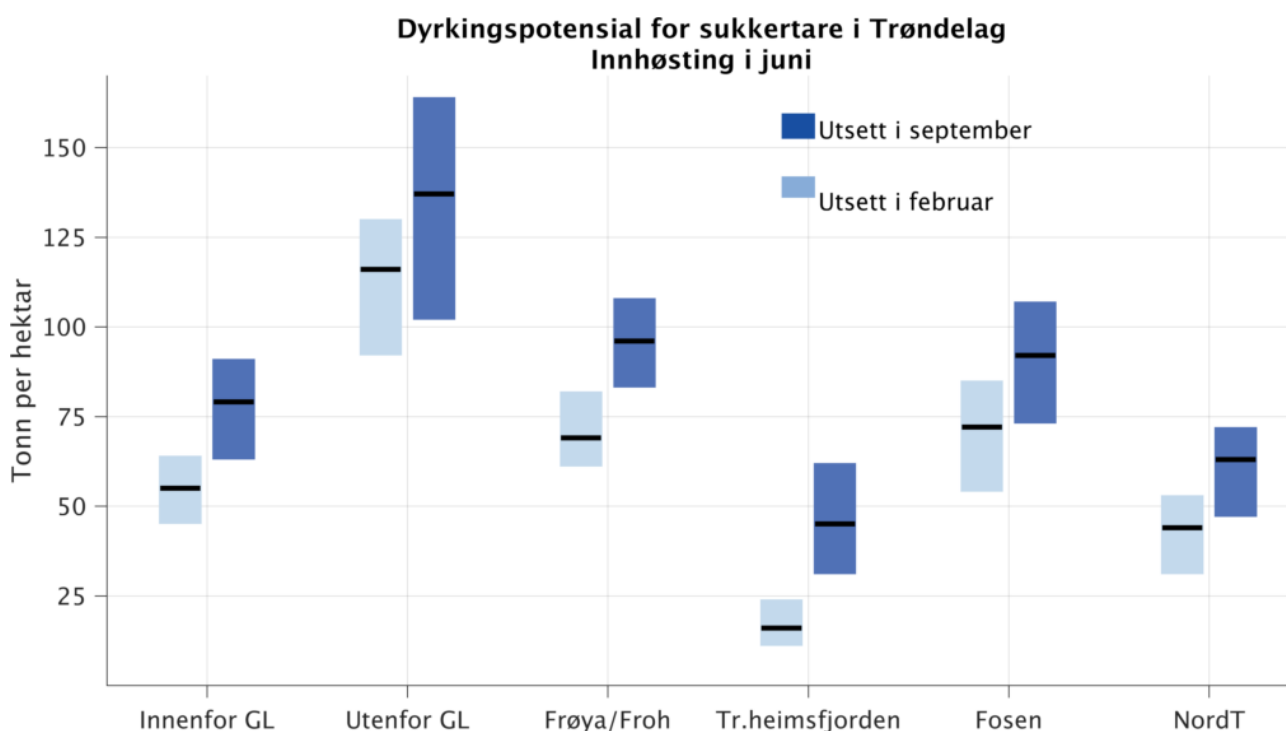


Figuren over viser en indeks for dyrkingspotensial for sukkertare i Trøndelag. Kartet er basert på modellsimuleringer og rangerer sjøarealet ut fra grunnleggende potensial for dyrking av makroalger. De røde linjene avgrensner en grov inndeling av Trøndelag i fem underområder, inkludert området utenfor grunnlinjen. Se figuren på neste side.

Modellresultatene tyder på at det kan være mulig å dyrke fra 45 til 90 tonn (sukker)tare per hektar per sesong innenfor grunnlinjen og mellom 92 og 164 tonn per hektar per sesong utenfor grunnlinjen i Trøndelag sett under ett. I enkelte områder, som i den sørlige delen av Frohavet, kan potensialet ligge på mellom 60 og 110 tonn per hektar per sesong. Ved enkelte spesielt gode lokaliteter kan potensialet være enda høyere.

I dag er ikke næringen basert på dyrkede makroalger i Trøndelag stor, men basert på dybdeintervjuene later det til å være stor optimisme og gode fremtidsutsikter. Flere markeder og produktisjer er aktuelle, spesielt høyverdiprodukter.

Trøndelag står på mange måter i en særstilling når det gjelder forskning og utdanning innen alle leddene i verdikjeden for biomasse basert på dyrkede makroalger. Forskningsmiljøene i Trondheim har svært lange tradisjoner innen tareforskning, og de er involvert i flere viktige forskningsprosjekter innen flere av leddene i verdikjeden.



Figuren over viser gjennomsnittsverdier for simulert produksjonspotensial for sukkertare over fem områder: innenfor grunnlinjen i Trøndelag, utenfor grunnlinjen, i området rundt Frohavet, Trondheimsfjorden, kysten av Fosenhalvøya og Nord-Trøndelag. De svarte strekene viser gjennomsnittet over fire år, mens søylene antyder minimums- og maksimumsverdier over denne perioden.

Resultatene i denne utredningen vil kunne være nyttige i arbeid med areal - og forvaltningsplaner og for marin næringsutvikling i Trøndelag. De vil også være relevante og interessante for eksisterende og fremtidige aktører innen makroalgenæringen, og videre alle som er interesserte i marin biomasseproduksjon og lavtrofisk produksjon.

En mulighet for å ta resultatene aktivt inn i planleggingsarbeid kan være gjøre dem tilgjengelige via web, slik at de kan brukes i interaktive kartverktøy (GIS, Fiskeridirektoratets kartverktøy).

Summary in English

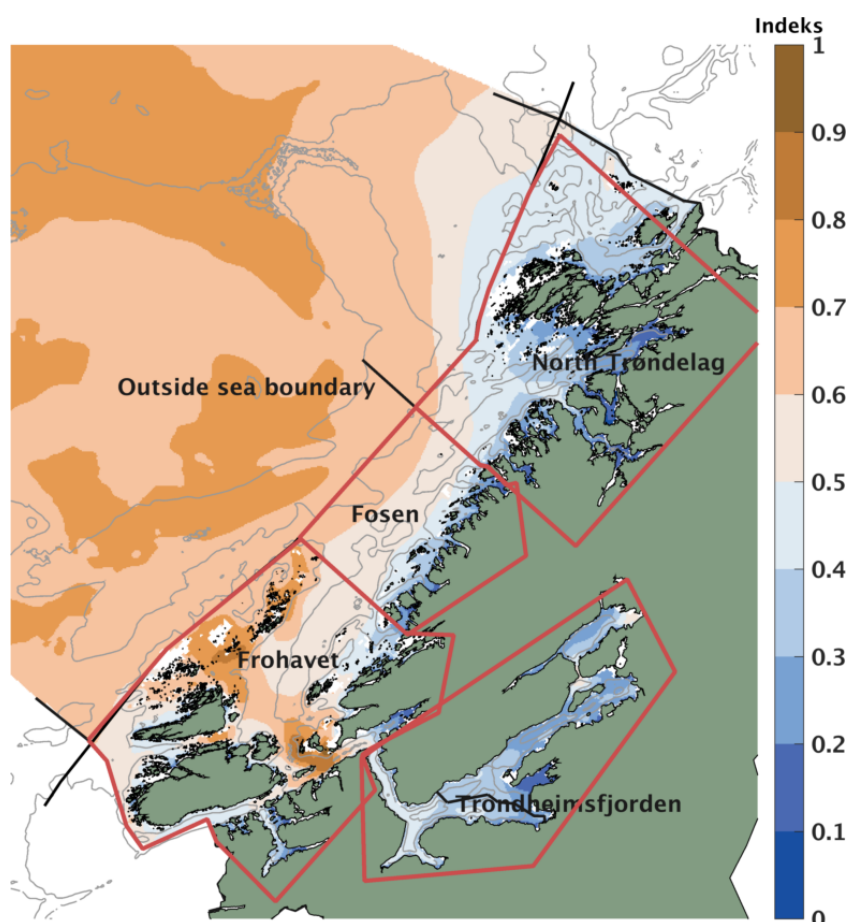
This report was commissioned by the county authorities of Trøndelag. The assignment was to

- identify suitable regions for cultivation of macroalgae in Trøndelag and to report on the cultivation potential;
- investigate the status and future prospects of the macroalgal industry in the county.

In order to identify suitable regions for cultivation and to estimate the cultivation potential, a numerical ocean model (SINMOD) with a module for growth and composition of sugar kelp was used. The status of the macroalgal industry was mapped through in-depth interviews.

Broadly speaking, the simulation results indicate that the basic potential for cultivation of macroalgae within and outside Trøndelag is highest some distance from the shore and outside the sea boundary. The best near-shore regions for macroalgal cultivation seem to be situated in the southern part of Frohavet. Good cultivation areas are situated around Froan, in Dolmsundet, around Storfosna and Leksafjorden. Some of the locations here seem to have a better potential than off shore on the continental shelf outside the sea boundary.

There are many potential areal conflicts in Trøndelag. Despite this, there are still around 7000 km² of available area inside the sea boundary where cultivation of macroalgae will not conflict with fisheries, farrowing, oil and gas activities or other aquaculture operations.

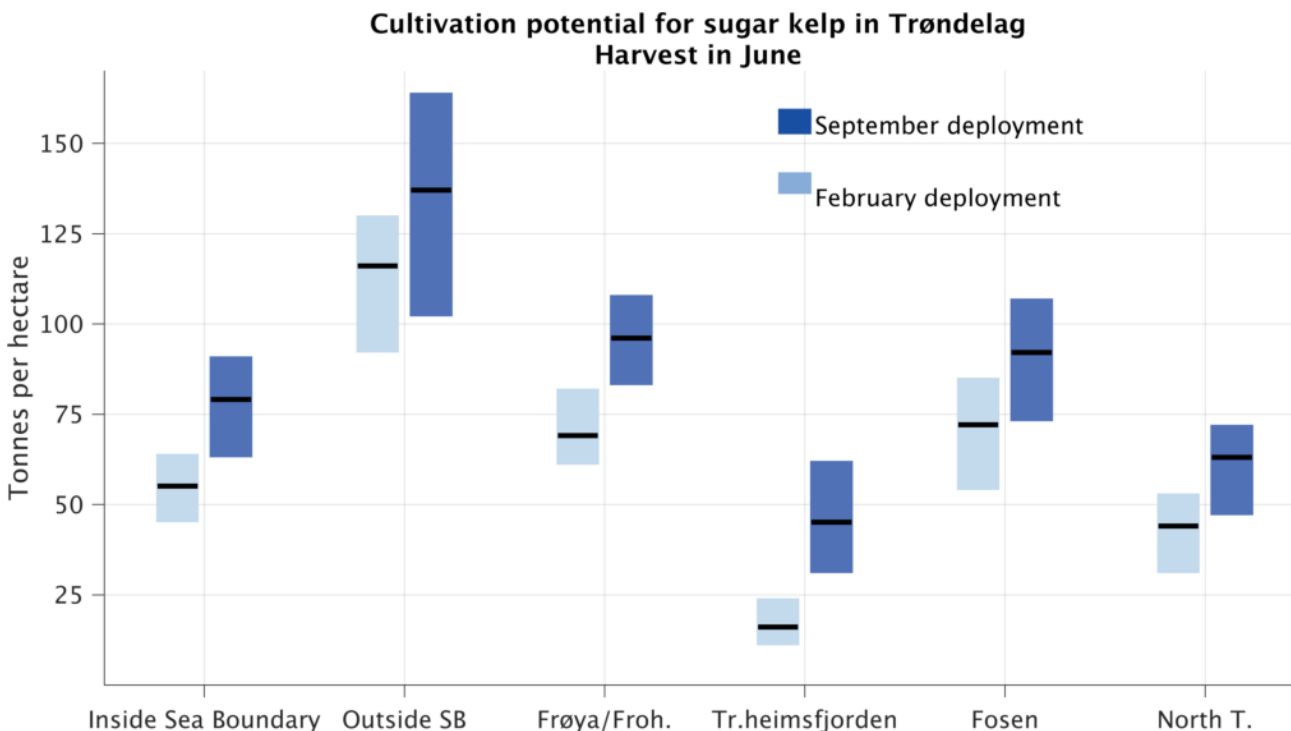


The above figure is an index for the potential of cultivation of sugar kelp in Trøndelag. The map is based on model simulations and ranks the different locations from the basic simulated cultivation potential. The red lines indicate a rough subdivision of Trøndelag into five smaller regions, including the areas outside the sea boundary. See the figure on the next page.

The simulation results indicate that it may be possible to produce 45 to 90 tons of (sugar) kelp per hectare per season inside the sea boundary, and between 92 and 164 tons per hectare per season outside the sea boundary in Trøndelag. In some regions, like the southern part of Frohavet, the potential may be as high as 60 to 110 tons per hectare. At some specific locations the production potential may be even higher.

At the present time the industry based on cultivated macroalgae in Trøndelag is not very large, but based on the interviews conducted, there seems to be a good outlook for the future. Several markets and niche products are relevant, in particular products of high value.

The county of Trøndelag has a special position in terms of research on and education within all levels in the value chain of biomass based on cultivated macroalgae in Norway. The research communities in Trondheim have long standing traditions on kelp research, and they are involved in several important international research projects along the entire value chain.



The above figure displays average values for simulated production potential of sugar kelp over the sub regions indicated in the previous figure: inside the sea boundary in Trøndelag, outside the sea boundary, the area around Frohavet, Trondheimsfjorden, the outer coast of Fosen, and North Trøndelag. The black horizontal lines indicate averages over four years, while the bars suggest minimum and maximum values over that period.

The results in this report may be useful for work on management planning and for development of marine businesses in Trøndelag. The results are also relevant for present and future participants in the macroalgae industry and everyone interested in the production of marine biomass on lower trophic levels.

A way to ensure more active use of the results in planning and management, would be to make them available online and for use in interactive planning tools (GIS).

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Dyrking av havet for å dekke behovet for mat, fôr og råstoff kommer til å bli enda viktigere enn det er i dag. Mens verdens akvakulturproduksjon har økt, og fortsetter å øke, har det totale fangstvolumet i verdens fiskerier holdt seg stabilt på rundt 80 millioner tonn per år de siste tretti årene [18]. Den totale akvakulturproduksjonen i verden var på rundt 80 millioner tonn i 2014. Av dette utgjorde ulike typer makroalger 27 millioner tonn [18]. Mens mekanisert høsting av ville tarebestander i Norge har pågått siden 1960-tallet [53], representerer dyrkede makroalger en ny type biomasse i norsk sammenheng. Mulighetene for innovasjon og næringsutvikling basert på dyrking og helhetlig utnyttelse av makroalgebiomasse anses å være store.

Rapporten “Verdiskapning basert på produktive hav i 2050” [36] anslår en seksdobling av den årlige omsetningen i den norske havbruksnæringen innen 2050. For makroalgeindustrien antydes en økning fra 1,2 milliarder NOK i dag til 40 milliarder NOK i 2050. Den norske makroalgeindustrien, hovedsakelig basert på høsting av viltvoksende tare, sysselsetter i dag rundt 400 personer. Med utvikling av industriell dyrking og tilhørende prosessering og leverandørindustri til hele verdikjeden er potensialet for nye arbeidsplasser stort. Det å etablere virksomhet innen dyrking og prosessering av makroalger har med dette et stort innovasjons- og verdiskapningspotensial for utvikling av nye og bærekraftige produkter og næringsvirksomheter både i grønn og blå sektor.

Naturlige bestander av tang og tare binder opp CO₂, og tarevev kan eksporteres til sedimenter og bidra til netto reduksjon av CO₂ i overflatelaget og atmosfæren [23]. Nye resultater antyder videre at *dyrking* av tare kan bidra til å redusere CO₂-innholdet i atmosfæren gjennom de samme prosessene [14]. Selv om det er for tidlig å si om dette kan være et frittstående argument for taredyrking, kan dette vise seg å være en positiv miljø- og klimaeffekt av makroalgekulturer. Ved økonomisk verdsetting av CO₂-utslipp og fangst, kan dette også bidra til å øke lønnsomheten i dagens algenæring.

Siden “Verdiskapning basert på produktive hav i 2050” [36] er det kommet en rapport, “Sjøkart mot 2050” [2], som konkretiserer noen av mulighetene og utfordringene innen den norske akvakulturnæringen. Makroalger er viet et egen avsnitt. En av utfordringene som nevnes i [14] er tilgangen på areal til taredyrking i kystsonen. Rapporten “Potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal” [11] antyder et stort potensial for makroalgedyrking til havs, der arealtilgangen er god og det er færre konflikter med andre interesser.

I Trøndelag er havbruksnæringen godt utviklet og innovativ. Et eksempel er SalMars havmerdkonsept Ocean Farming. Det er også en eksisterende tarenæring med fokus ikke bare på biomasseproduksjon, men også på produkt- og produksjonsutvikling. I dette perspektivet ligger det til rette for at Trøndelag skal kunne realisere en stor del av vekstpotensialet for tarenæringen for landet i sin helhet. Denne rapporten peker på hvor de naturlige forutsetningene for produksjon av makrolager er best, og gir sammenlignbare tall for potensialet mellom regioner (Møre og Romsdal vs Trøndelag) og innad i regionen (fjord, kyst, sokkel). Statusen til den eksisterende tarenæringen i fylket blir gitt, og potensialet knyttet til forskning og utdanning vurdert. En del åpenbare arealkonflikter blir drøftet.



1.2 Oppdragsbeskrivelse og oversikt over rapporten

Denne utredningen ble bestilt og finansiert av Trøndelag fylkeskommune. Oppdraget har vært å utrede potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag. Rapporten vil behandle følgende tema:

- Betingelser for god vekst av makroalger og hvordan disse betingelsene gjør seg gjeldende i havområdene i og utenfor Trøndelag, samt hvordan de varierer med tiden (sesongmessige og mellomårslige variasjoner) og fra et sted til et annet.
- Gode områder og lokaliteter for dyrking av makroalger i Trøndelag
 - Områder innenfor og utenfor grunnlinjen (på kontinentalsokkelen)
 - Utredning av tareoppdrett i Trondheimsfjorden
 - Potensialet for biomasseproduksjon
- Mulighetene for utvikling av industriell dyrking av makroalger som ligger i eksisterende infrastruktur i Trøndelag, spesielt med tanke på utdanning, forskning og utvikling.
- Tarenæringen i Trøndelag: utfordringer og fremtidsplaner
- Mulige utfordringer knyttet til eksisterende arealbruk og –næringer som
 - Farled
 - Fiskeri
 - Havbruk
 - Olje og gass
- Sammenligning av modellresultater med resultater fra tidligere dyrkingsforsøk.

Rapporten kartlegger grunnlaget for dyrking av makroalger og viser hvor potensialet er antagelig er størst. Det er også muligheter for dyrking i områder som ikke er velegnet for andre typer aktivitet. Her er utvikling av passende dyrkingsteknologi et stikkord. Utredningen og de perspektivene den løfter frem bør være nyttige for alle som er interesserte i marin biomasseproduksjon og forvaltning av lavtrofiske ressurser. Vi har ikke sett på muligheter for økt produksjon ved å utnytte økte næringssaltkonsentrasjoner som følge av lakseoppdrett, såkalt *integrert multitrofisk akvakultur (IMTA)*.

I kapittel 2 beskrives metodikken som er benyttet. Noen av de tekniske detaljene er hensatt til appendiks A og B. Resultatene om gode områder for dyrking og dyrkingspotensial er lagt til kapittel 3 med noen ekstra figurer i appendiks C. Resultatene om tarenæringen i Trøndelag finnes i kapittel 4. Konklusjonene oppsummeres i kapittel 5.

Takk til: Silje Forbord og Kristine Braaten Steinhovden var sentrale i gjennomføringen av dyrkingsforsøkene som er referert i figur 3.20 og appendiks D. Morten Alver gjennomførte simuleringene med WRF-modellen.

2 Metodikk

Hovedfokuset i denne utredningen er på å vurdere gode områder for oppdrett av makroalger og å undersøke utfordringer og fremtidsutsikter hos den trønderske makroalgenæringen. Her beskriver vi metodikken som er benyttet: numerisk havmodellering og dybdeintervjuer av representanter for makroalgenæringen i Trøndelag.

Inngangsdata	Havmodell 3D Fysiske prosesser	Økosystemmodell 3D Biologiske/kjemiske prosesser	Tarevekstmodell Biologiske/kjemiske prosesser
Bunntopografi	Temperatur	Næringssalt (NO ₃ , NH ₄)	Størrelse, veksthastighet
Atmosfæredata	Saltholdighet	Planteplankton	Biomasse
Ferskvann fra elver og land	Vannstrøm, transport	Dyreplankton	Karboninnhold
	Lys	Detritus	Nitrogeninnhold
			Tap av biomasse

Figur 2.1: Til å vurdere dyrkingspotensialet for makroalger og identifisere gode dyrkingsområder er det benyttet et koblet biologisk-fysisk havmodellsystem, SINMOD, som simulerer grunnleggende fysiske og biologiske prosesser i havet. Denne modellen har vært koblet med en tarevekstmodell. Modellen beregner de fysiske og biologiske variablene i tre dimensjoner og hvordan disse endrer seg og vekselvirker med hverandre over tid. Skjemaet over viser noen av de viktigste variablene i modellsystemet som har hatt betydning i denne utredningen.

2.1 Numerisk havmodellering

Merk at endel detaljer er hensatt til appendiks A.

Vurderingen av potensialet for makroalgedyrking er basert på resultater fra det numeriske havmodellsystemet SINMOD koblet med en vekstmodell for sukkertare (<http://www.sintef.no/sinmod>). Havmodellsystemet simulerer de grunnleggende fysiske og biologiske forholdene i havet i tre dimensjoner: strømmer, temperatur, saltholdighet, konsentrasjon og produksjon av plante- og dyreplankton, samt næringssaltkonsentrasjoner. I tillegg simuleres altså vekst av sukkertare. Se figur 2.1 og A.2. Fordelen med et slikt modellsystem er at man får eksplisitt informasjon om *hvor* forholdene kan være gode eller mindre gode. Man får også med tidsutviklingen, altså hvordan de ulike miljøbetingelsene varierer med skiftende årstider og ulike år. Spesielt kan man simulere hvordan tarebiomassen kan variere med ulike høste- og utplantingstidspunkt. En kortfattet beskrivelse av hvordan makroalger dyrkes i sjø blir gitt i avsnitt 3.2.

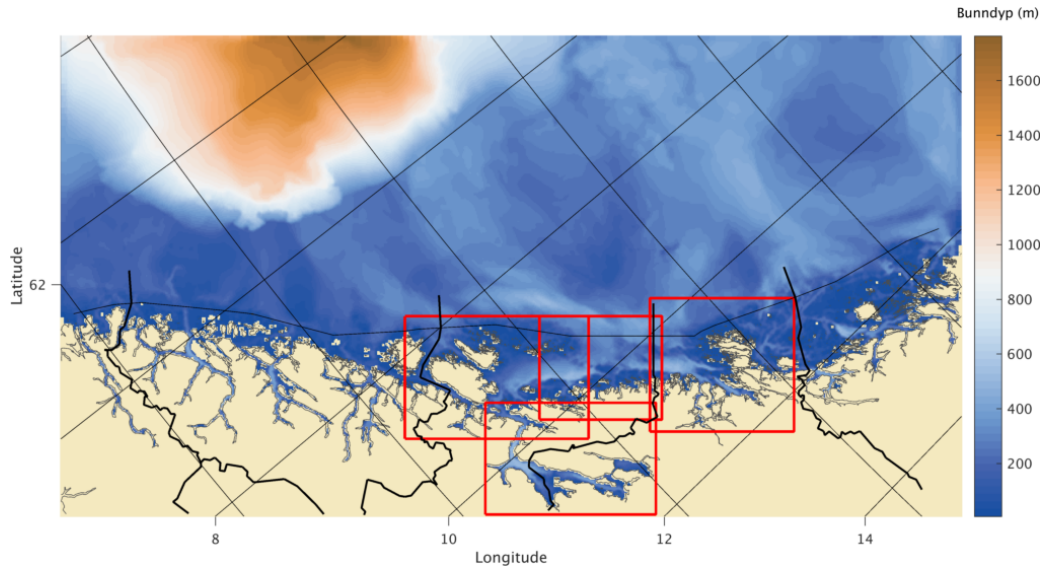
Den hydrodynamiske komponenten av SINMOD er basert på de primitive Navier-Stokes ligningene som løses ved hjelp av et endelig differanse-skjema. Modellen bruker z-koordinater, hvilket betyr at alle dybdelagene, bortsett fra overflate- og bunnelagene, har en fast tykkelse. Tykkelsen på overflatelaget bestemmes av tidevannselevasjon og atmosfærisk trykk, mens tykkelsen på bunnelaget bestemmes ut fra bunndypet. Se for eksempel [51].

Det brukes fast rutestørrelse i modellen. Altså har alle rutene i et modellområde den samme horisontale utstrekningen.

Modelloppsettene som ble benyttet dekker kysten av Midt-Norge fra Nordfjord til Sandnessjøen i en horisontal oppløsning på 800 m og kysten av Trøndelag i en oppløsning på 160 m. Se figur 2.2. Den vertikale lagtykkelsen varierte fra 1 m mot overflaten til 100–500 m mot bunnen (større dyp).

De atmosfæriske drivkreftene for modellen i 800 m oppløsning ble hentet fra ECMWFs ERA-Interim-data [13]. Dette er data som er reanalysert ved hjelp av en global værmodell. Atmosfæriske drivkrefter for de høyoppløste modellene ble generert ved hjelp av atmosfæremodellen WRF (<https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>). Daglig elveavrenning er hentet fra tidsserier fra NVE (www.nve.no). Det er brukt 383 ferskvannsutslipp i 800 m-modellen.

Økosystemkomponenten til SINMOD simulerer grunnleggende biologiske og biogeokjemiske prosesser i havet og har variable for oppløst næringssalt (nitrat, ammonium og silikat), bakteriell nedbrytning, heterotrofe nanoflagellater, planteplankton (kalkalger og flagellater), ciliater og dyreplankton. Det er også variable for detritus, og remineraliseringsprosesser (NH₄⁺ til NO₃⁻) er representert. En detaljert gjennomgang av SINMODs



Figur 2.2: Modellområdet i 800 m som ble brukt i simuleringene med det koblede fysikk-biologi-taremodellsystemet. Det røde rektangelet viser omrisset av de høyoppløste modellområdene i 160 m oppløsning for Trøndelag. De hvite kurvene er 200, 300 og 500 meters dybdekonturer. Fargene viser bunndyp. Legg merke til at kartet er rotert slik at nord peker oppover mot høyre. Grensebetingelser til dette modellområdet kommer fra en grovere modell. Se figur A.1.

økosystemmodell, inkludert parametre for ulike biologiske rater (fotosyntese, opptak og så videre) kan finnes i Wassmann et al. 2006 [54], og en illustrasjon av noen av relasjonene i modellen er gitt i figur A.2. De ulike variablene beskriver *konsentrasjoner* i modellrutene. Modellen er nitrogenbasert, og det brukes et fast karbon-nitrogenforhold på 7,6 [54], bortsett fra i taremodellen.

2.1.1 Vekstmodell for makroalger

Sukkertare I simuleringene som er gjennomført her er det brukt en vekstmodell for sukkertare (*Saccharina latissima*) [12] koblet med sinmod [10]. Tarevekstmodellen simulerer vekst og størrelse hos sukkertare som funksjoner av tid og miljøbetingelsene. Prosesser som fotosyntese, opptak av karbon og næringssalter og tap av vev blir simulert. Siden tarevekstmodellen kjøres koblet med den romlig eksplisitte modellen SINMOD, får vi romlig informasjon om tarevekst.

Tilstandsvariablene, altså den informasjonen om plantens tilstand som sammen med miljøbetingelsene brukes for å beregne tilstanden ved neste tidspunkt, er

- bladstørrelse A
- nivået til nitrogenreserven N
- nivået til karbonreserver C .

Det er disse variablene som er grunnlaget for alle andre beregninger basert på modellen. Følgende variable, som blir beregnet ut fra faste parameterverdier og tilstandsvariablene, er også interessante:

- nitrogeninnhold
- karboninnhold
- bladets tørrvekt



Figur 2.3: Begroing på dyrkede sukkertareplanter. Plantene ble satt ut i februar. Det venstre bildet viser tilstanden i juni, mens bildet til høyre er tatt i august. Bildene er fra [24].

- bladets våtvekt
- tørrstoffinnhold (forholdet mellom de to foregående variablene).

En detaljert beskrivelse av modellen og parametervalgene er gitt i [12, 10, 11]. Modellen er opprinnelig utviklet basert på publisert vitenskapelig litteratur og er senere tilpasset videre eksperimentelle data og delvis validert mot resultater fra feltforsøk [10].

Siden vi vurderer dyrkings- og vekstpotensialet i et stort geografisk område fra innerst i fjordene til Norskehavet utenfor kontinentalsokkelen vil de oseanografiske forholdene (fysiske, biologiske og biogeokjemiske) også variere mye. Det er innført en korreksjonsfaktor som reduserer opptaksraten for næringssalt, fotosynteseraten og vekstraten som en funksjon av saltholdigheten dersom saltholdigheten er lav (under 25 ‰). Se [31] og [11].

Begroing Begroingsorganismer, spesielt ulike typer mosdyr, forekommer både i naturlige tarepopulasjoner [4] og i dyrkede kulturer [24, 20] (se figur 2.3) og kan føre til redusert vekst og tap av biomasse gjennom nedbrytning av bladet [20] eller at planter dør og detter av vekstsubstratet [4]. Studier har vist at i Trøndelag tiltar begroing frem mot og utover sommeren. Derfor vil vi i denne utredningen kun vurdere vekst frem til begynnelsen av juni, og gjennomgående anta at all biomasse blir høstet i første uken av juni eller tidligere. Graden av begroing avhenger blant annet av temperaturhistorikk [48, 47] og lokalitet [30], og det finnes lokaliteter der begroing er et mindre problem enn andre steder. Å vurdere begroingsproblematikken er svært krevende og må baseres på prøvedyrking. Begroing kan vise seg å være et mindre problem ved dyrking til havs, på sokkelen eller lenger ute.

2.1.2 Simuleringer

Det ble gjennomført fem simuleringer: en simulering med modellen i 800 m oppløsning og totalt fire simuleringer med hver av de høyoppløste modellene i 160 m oppløsning som til sammen dekker trøndelagskysten. I alle tilfellene ble det brukt et fullstendig koblet fysikk-økosystem-sukkertare-oppsett.

Modellen for Midt-Norge i 800 m oppløsning ble kjørt fra og med juli 2012 til og med juni 2016. Hensikten med dette var å simulere fullstendige dyrkingssesonger (sensommer/høst til sommer) og å få informasjon om den mellomårlege variabiliteten i dyrkingspotensialet. Hver modellrute ble gitt de samme startverdiene for bladareal, nitrogen- og karbonreserver. Det ble brukt modellruter fra overlaten ned til 75 m dyp for å undersøke potensialet for dyrking på ulike dyp. Selv om suk kertare ikke forekommer dypere enn rundt 20-30 m i naturlige bestander, er det teoretisk mulig å dyrke dypere enn dette dersom de rette miljøbetingelsene er til stede. Følgende startverdier ble brukt:

- bladareal: $A_0 = 0,2 \text{ cm}^2$
- nitrogenreserve: $N_0 = 0,02$ (tilsvare r nitrogeninnhold på 1,8% av tørrvekten)
- karbonreserve: $C_0 = 0,4$ (tilsvare r karboninnhold på 32% av tørrvekten)

Bladstørrelsen som ble brukt som startverdi (A_0) tilsvare r grovt sett størrelsen til suk kertareplanter når de settes ut i sjø på taukulturer [19, 10]. Størrelsen til og sammensetningen av taresporofyttene vil naturlig variere som følge av en rekke faktorer, for eksempel tid fra sporeslipp til utsåing [19]. Et av hovedmålene med denne studien er å sammenligne det grunnleggende potensialet for tare dyrking ved ulike lokaliteter og å identifisere gode områder for dyrking. Derfor er det naturlig å anta at forholdene for øvrig er helt like. Det ble antatt at det kun var en enkelt "tareplante" i hver modellrute, slik at simulert næringssaltkonsentrasjon og lysintensitet ikke ble påvirket av taren. Ved begynnelsen av en ny måned ble det initialisert ("satt ut") et nytt tredimensjonalt suk kertarefelt. Totalt ble det altså simulert 48 "utsett" av suk kertare.

Modellene i 160 m oppløsning ble kjørt fra begynnelsen av januar til juni 2016. Året 2016 ble valgt for at simuleringen med den fine modellen skulle overlapp e med simuleringen med den grove modellen i tid, men ellers var året valgt tilfeldig. Hensikten med simuleringen var å få bedre romlig oppløsning spesielt for kystområdene innefor grunnlinjen (figur 2.2). De samme startbetingelsene som ovenfor ble brukt, og det ble antatt dyrking ned til 25 m dyp.

2.1.3 Beregning av produksjonspotensial og vurdering av velegnede områder for makroalgedyrking

Vurderingen av gode områder og potensialet for storskala makroalgedyrking ble basert på resultater fra simuleringer med SINMOD. Estimaten e for biomasseproduksjon ble basert utelukkende på resultatene fra vekstmodellen for suk kertare (A.1.3 nedenfor). Grunnen til dette er at man kan sammenligne dyrkingsbetingelsene ved å sammenligne simulerte (eller målte) miljøvariable ved ulike lokaliteter direkte, men for å estimere biomasse må man eksplisitt omregne disse betingelsene til biomasse. Da trengs det en form for vekstmodell eller veldig gode dyrkingsdata. Det finnes ennå ikke gode vekstmodeller for andre (norske) arter enn suk kertare. Modeller for flere arter blir imidlertid utviklet i det pågående (2016–2019) forskingsprosjektet MACROSEA - "Kunnskapsplattform for industriell dyrking av makroalger" (finansiert av Norges Forskningsråd, prosjektnummer 254883). Se A.1.1.

Indeks for grunnleggende potensial for dyrking av suk kertare For å vurdere velegnetheten til ulike områder i Trøndelag ble det etablert en *indeks* som sammenligner det grunnleggende dyrkingspotensialet for suk kertare innen et utsnitt av modellområdet i 800 m horisontal oppløsning (figur 2.2). I hver horisontal modellrute blir tørrvekten til enkeltplanter vurdert som følger. Den simulerte ukentlige tørrvekten til tarebladet blir addert gjennom alle uker, frem til og med første uken i juni samme eller neste år. Dette blir gjort for alle de månedlige "utsettene" av plantene fra 1. juli 2012 til 1. mai 2016. Tørrvekten for plantene ned til 25 m dyp blir addert.

Vekten av en plante blir aldri fulgt lengre enn til den første uken i juni. Juni blir satt som grense fordi det *generelt* sett er problematisk å dyrke gjennom sommeren grunnet blant annet begroing (avsnitt 2.1.1). Til slutt blir indeksen normalisert ved å dele på maksimumsverdien av de tids- og dybdeintegrerte biomassene over hele det relevant geografiske området. Dermed får man et verdi som varierer mellom 0 og 1 over dette området. Noen flere detaljer om indeksen er gitt i appendiks A.1.1.

Biomasseestimer Med utgangspunkt i simuleringene med modellene i 800 og 160 m oppløsning ble potensialet for dyrking av sukkertare beregnet som biomasse per arealenhet ($t\ ha^{-1}$). Det ble antatt at dyrkingen foregikk i taukulturer. Se avsnitt 3.2. Resultatene for enkeltplanter ble oppskalert til biomasse per hektar ved å multiplisere tørrvekten til en enkelt plante i en modellrute med antall planter per hektar i den ruten. Se avsnitt A.1.3 for detaljer rundt biomasseestimatene.

Andre arter enn sukkertare For andre arter enn sukkertare er det ikke brukt en eksplisitt dynamisk modell. Det vitenskapelig datagrunnlaget for en detaljert (kunnskaps- eller databasert) modell for andre makroalger enn enkelte tarearter er foreløpig for dårlig. Egnede arter for dyrking i Trøndelag blir drøftet i avsnitt 3.2, og viktige miljøbetingelser for vekst hos disse blir diskutert. Videre kan man etablere en *grov* indeks basert på de simulerte miljøbetingelsene for havmodellen.

Løst basert på den tilgjengelige informasjonen om søl (*P. palmata*) (se tabell 3.1), har vi vektet miljøvariablene *temperatur*, *saltholdighet* og *næringssaltkonsentrasjon* (summen av nitrat og ammonium). For hver dag gis hver modellrute en skår basert på verdiene av de tre miljøvariablene og hvordan man antar arten vil respondere. Skårene over en periode summeres for hver modellrute/hvert romlig punkt. Deretter normaliseres det hele ved å dele på den maksimale konsentrasjonen over et område (slik at indeksen får maksimalverdi 1). Dette må sees på mer som et innspill til metodikken som presise resultater. Det er en måte å integrere informasjonen fra havmodellen over tid på. Se appendiks A.1.2 for en mer presis formulering av denne indeksen.

2.2 Dybdeintervjuer om trender og utvikling i tang- og tare-industrien i Trøndelag

Formålet med dybdeintervjuene i dette prosjektet var å beskrive og fortolke temaer fra syv trønderske intervjuobjekters ekspertområder innen produktutvikling, høsting og oppdrett av tang og tare. Disse bedriftene hadde variert oppstartstid, men ingen var over ti år gamle. Den eldste bedriften ble startet i 2009, tre hadde oppstart i 2014, en i 2016 og to var oppstartet i 2017.

Dybdeintervjuene ble gjennomført for å samle data om det direkte og indirekte potensialet for storskala makroalgeproduksjon i Trøndelag. I tillegg ønskes en synliggjøring av tareaktørene og industriens omfang i Trøndelag, herunder hvor stort potensiale industrien ser for seg i fremtidig produksjon og marked. Målet for intervjuene var å danne et bilde av alderen på næringen, trendene i utviklingen av denne næringen i Trøndelag, og hva som preger og har preget denne utviklingen. Det vil si at vi i intervjuet kom inn på for eksempel i hvilken grad intervjuobjektene oppfatter utviklingen i den eksisterende næringen, og eventuelt hvilken styrke han eller hun opplever at makroalgeproduksjon i Trøndelag har i forhold til både nasjonale og internasjonale konkurrenter. Prosjektet er ikke meldepliktig ihht til meldepliktstesten til Personvernombudet til Norsk senter for forskningsdata (NSD). Dette er fordi det kun er anonyme opplysninger som registreres, dvs at det ikke er mulig å identifisere enkeltpersoner i intervjumaterialet, verken direkte eller indirekte som gjennom epost, IP adresse eller koblingsnøkkel.

I dette sammenstillingstrinnet strukturerte vi først et stort og komplekst intervjumateriale basert på disse syv dybdeintervjuene slik at det kunne analyseres videre. Disse intervjuene varierte fra 20 minutter til 1 time med tilhørende narrativer fra intervjuobjektene. Intervjuguiden er gjengitt i tillegg B. Tre av intervjuene var personlige mens fire var telefonintervjuer.

En intervjuanalyse kan sees på som en type fortelling, et narrativ som utformer historien som intervjuobjektet har fortalt. Dette kapittelet er derfor en sammenfatning og rekonstruksjon av alle de historiene og erfaringene de forskjellige intervjuobjektene fortalte i løpet av sine individuelle intervjuer. Vi organiserte meningsinnholdet i intervjuene ved å analysere og rapportere intervjuobjektets egen oppfatning av problemstillingen og formidle

Tabell 2.1: Kodeskjema for dybdeintervjuene

Intervju nr.	1
Dato	Dato for intervju
Oppstart av firma	Årstall
Dyrking	Ja/nei
Foredling/prosessering	Ja/nei
Marked	Ja/nei
Teknologi	Ja/nei
Mat og drikke	Ja/nei
Annet	Ja/nei
Historie (om hva man gjør og når man startet)	tekst
Trender og utvikling i næringen	tekst
Tang- og tareindustrien i Norge	tekst
Klynger og nettverk	tekst
Geografisk tilknytning	tekst
Antall ansatte	tekst
Utfordringer	tekst
Konkurransefortrinn vis-à-vis utlandet	tekst
Konkurransefortrinn for utenlandske konkurrenter	tekst
Eksport	tekst
Konflikt	tekst
Fremtiden	tekst

dette i et kodeskjema (tabell 2.1) basert på hovedtemaer fra intervjuguiden hvor vi senere kunne filtrere resultatene for å se trender og svar innenfor samme kategorier spørsmål, og danne ordskyer for å illustrere viktige temaer tatt opp i intervjuene.

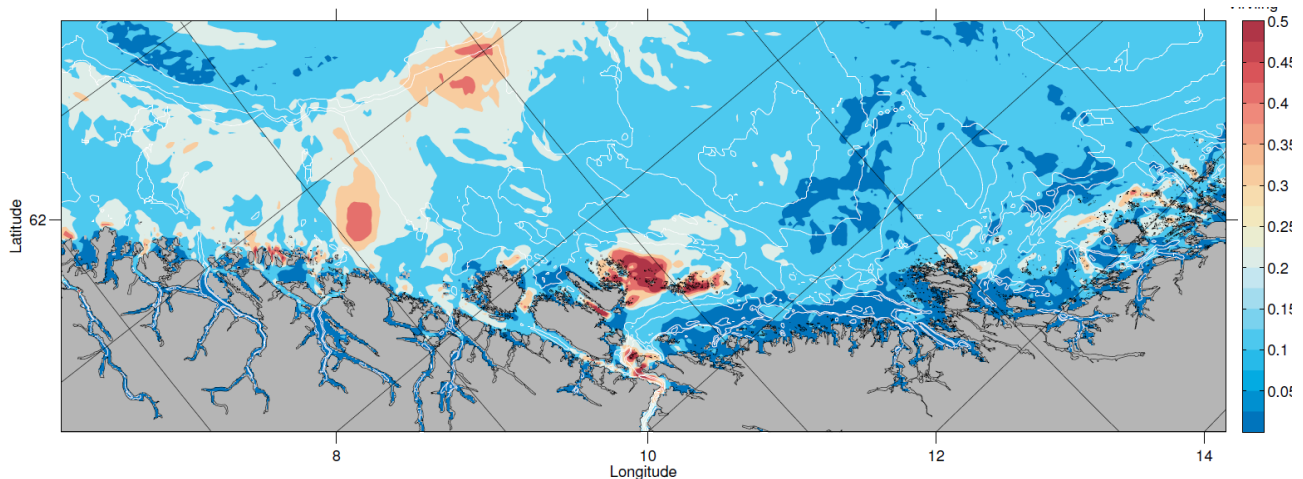
3 Potensialet for makroalgedyrking i Trøndelag

3.1 Grunnlaget for primærproduksjon langs trøndelagskysten

Makroalger er taksonomisk sett en variert gruppe av store, flercellede alger. Her ser vi utelukkende på *marine* arter, altså makroalger som vokser i havet (saltvann). I Norge finnes det ca. 500 arter av marine makroalger: rundt 210 rødalger (*Rhodophyceae*), 100 grønnalger (*Chlorophyceae*) og 200 brunalger (*Phaeophyceae*) [42]. Tang og tare hører inn under brunalgene. Eksempler på rødalger er søl (*Palmaria palmata*) og fjærehinne (*Porphyra umbilicalis*). Blant grønnalgene finner vi for eksempel havsalat (*Ulva lactuca*). Se figur 3.4.

Som planteplankton og landlevende planter er makroalgene *primærprodusenter*. Det vil si at de omdanner sollys, vann og CO₂ til kjemisk energi gjennom fotosyntese. Fotosyntese er den viktigste biologiske prosessen som omdanner uorganisk karbon på denne måten. Tilstrekkelig tilgang til lys (og CO₂) er altså den grunnleggende forutsetningen for primærproduksjon, både i havet og på landjorden. Fotosyntese skjer i pigmentet klorofyll, og for å danne pigmenter er plantene avhengige av nitrogen (magnesium er også en essensiell bestanddel). I havet finnes oppløst nitrogen som er tilgjengelig for opptak i alger i form av blant annet ammoniakk (NH₃), ammonium (NH₄⁺) og nitrat (NO₃⁻). Tilgang på næringssalter som nitrat er derfor en annen forutsetning for fotosyntese og primærproduksjon. Også andre næringssalter, som fosfat (PO₄³⁻), er nødvendige, men vanligvis regnes nitrogenkomponenter for å være begrensende for primærproduksjonen langs norskekysten [45]. Det vil si at økt produksjon ikke kan forekomme uten økning i tilgangen til nitrogen. Temperaturen er viktig fordi den bestemmer hastigheten til de biokjemiske prosessene i havet.

Det er vekselvirkninger mellom fysiske og biologiske prosesser som bestemmer tilgangen til nitrogen og lys i

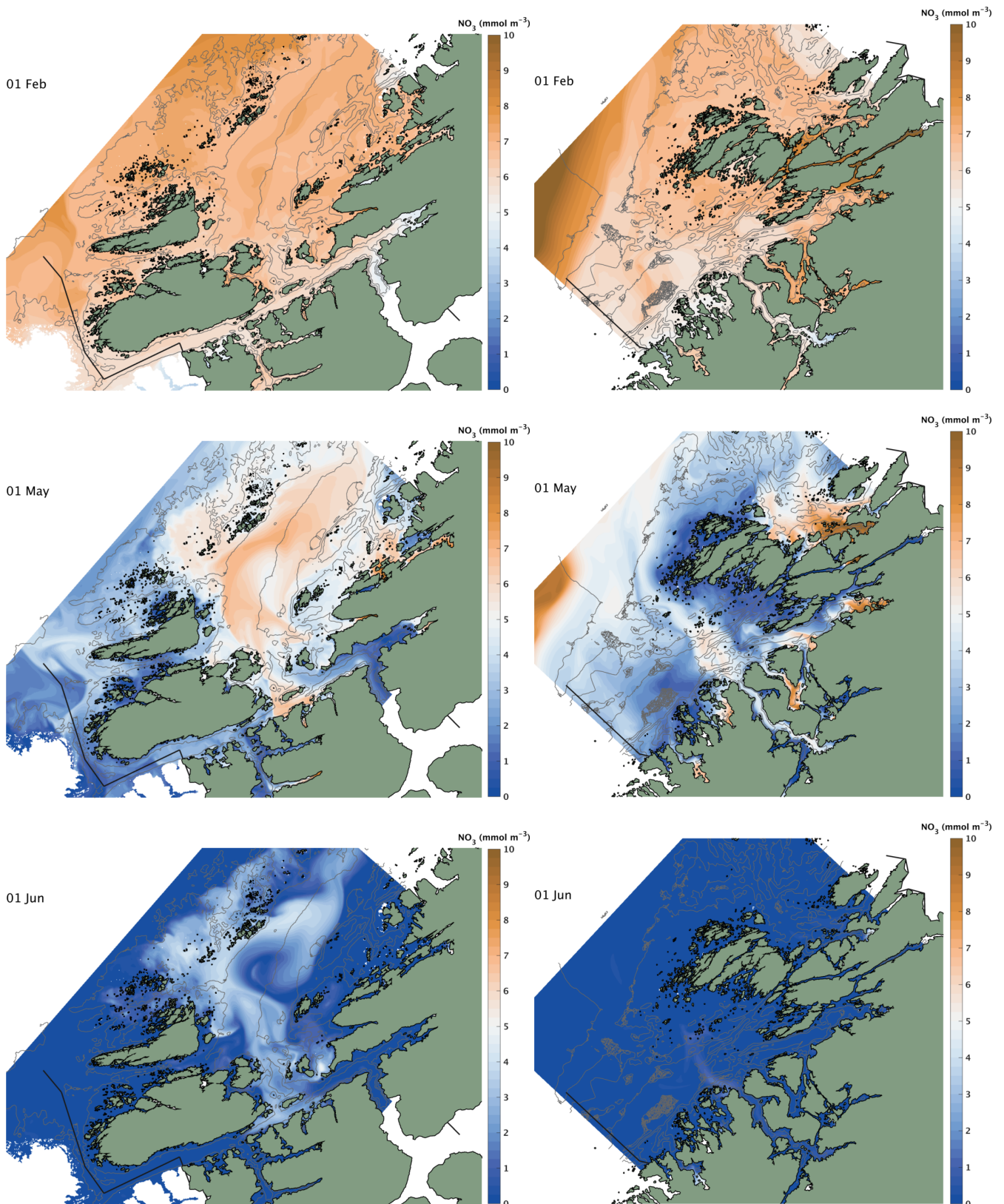


Figur 3.1: Maksimal tidevannsstrøm for januar beregnet med modellen i 800 m oppløsning (figur 2.2). Legg merke til at dette kartet er orientert slik at nord peker på skrå oppover mot høyre (se lengde- og breddegradene). Fargene antyder strømfart i meter per sekund. Vi ser sterke tidevannsstrømmer over grunne områder (som ved Froan og Orskjæra) og i trange sund.

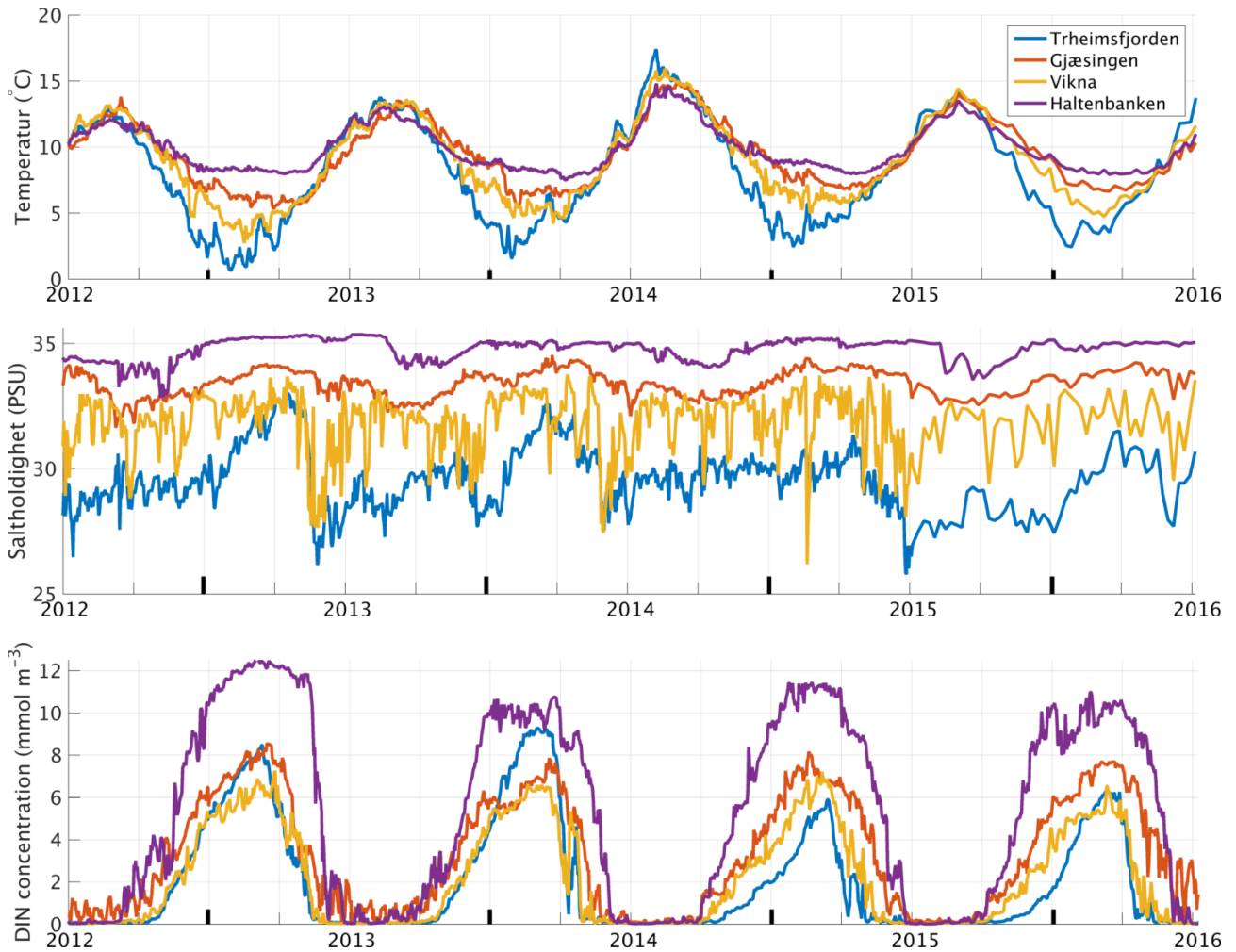
havet. En av de viktigste fysiske faktorene er den norske kystrømmen. Den har sitt utgangspunkt i utstrømmingen av relativt ferskt vann fra Østersjøen, og følger kysten rundt Sør-Norge, nordover langs Vestlandet og forbi Midt-Norge. Langs sokkelkanten utenfor Midt-Norge går den Nordatlantiske strømmen. Den nordlige delen av kontinentalsokkelen utenfor Midt-Norge er dominert av atlantisk vann. Se [43]. Den varierende bunntopografien langs trøndelagskysten fører til komplekse strømforhold som varierer mye over tidsskalaer fra timer til år. Det er også andre fysiske forhold som spiller inn, som for eksempel sterke tidevannsstrømmer, spesielt i områdene utenfor Frøya, Sula og Ørlandet (figur 3.1).

Den årlige våroppblomstringen av planteplankton langs kysten oppstår som en følge av økt lystilgang og sterkere lagdeling av vannmassene i fjordene og kyststrømmen. Etterhvert fører produksjonen til at det øverste laget av vannmassene blir tømt for nitrogen. Se figur 3.2. Tilgangen til nitrogen begrenser derfor planktonveksten i mange områder. Høye konsentrasjoner av planteplankton fører videre til kraftigere absorpsjon av lys, og lysskygging kan også bli en faktor som påvirker produksjonen. Dypere ned i vannet er det fortsatt oppløst nitrogen tilgjengelig. Speiselle værforhold eller tidevannsstrømmer kan føre til episodisk eller jevnere oppblanding av dypere vannmasser enkelte steder og dermed øke grunnlaget for produksjon. Det er blant annet på grunn av dette at enkelte områder er mer produktive enn andre. Eksempler på slike områder er Sularevet og områder rundt Storfosna/Ørlandet (figur 3.6). Også i Frohavet ser det ut til å være godt tilgang på næringsalter.

Figur 3.3 viser tidsutviklingen i temperatur, saltholdighet og nitratkonsentrasjon i overflatelaget ved fire lokaliteter i og utenfor Trøndelag (se posisjonene i figur 3.6). Tidsperioden dekker totalt fire år fra juli 2012 til utgangen av juni 2016. Lokalitetene er valgt som eksempler på ulike vannmasser med ulike egenskaper. Resultatene er fra simuleringene med modellen i 800 m oppløsning (se figur 2.2). Forholdene i Trondheimsfjorden (de blå kurvene) og på Haltenbanken (de lilla kurvene) er svært forskjellige. På Haltenbanken er for eksempel temperaturen mer stabil enn i fjorden. Dette skyldes innblanding av atlantisk vann utenfra sokkelen, som vekselvirker med vannet fra kyststrømmen på Haltenbanken. I Folda sør for Vikna er saltholdigheten periodevis like lav som i Trondheimsfjorden. Dette skyldes utstrømming av ferskvann fra Namsen via Namsenfjorden og ut i Folda. Namsen har en middelvannføring på $290 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, som tilsvarer nesten halvparten av ferskvannsavrenningen til hele Trondheimsfjorden ($6\text{--}700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Ferskvannslaget i Trondheimsfjorden og i Folda fører til en stabilisering av vannmassene og mindre oppblanding av næringsalter fra dypere lag. Dette ser vi fra de nederste tidsseriene i figur 3.3. På Haltenbanken er maksimumskonsentrasjonene av nitrat høyere enn ved de tre andre lokalitetene, og generelt varer perioden med høye nivåer lengre enn ved kysten og i fjorden. Ved Gjæsingan, rett nord for Frøya, er saltholdigheten preget av kysttvann, men ligger betydelig høyere (det midterste panelet



Figur 3.2: Romlig fremstilling av simulert nitratkonsentrasjon i overflaten 1. februar (øverst), 1. mai 2016 (midten) og 1. juni 2016 (nederst). Fra simuleringer med modellene for Frohavet (til venstre) og Nord-Trøndelag (til høyre) i 160 m oppløsning.



Figur 3.3: Eksempel på tidsserier for simulerte miljøbetingelser ved fire ulike lokaliteter i og utenfor Trøndelag. Lokalitetene er tegnet inn i figur 3.6.

i figur 3.3). Her er også mer næringssalt tilgjengelig enn ved Vikna og i Trondheimsfjorden: konsentrasjonene er stort sett høyere, og det blir i stor grad tilført næringssalt via for eksempel gjennom tidevannsblending også i sommersesongen.

3.2 Dyrking av makroalger og aktuelle arter for dyrking i Trøndelag

For å dyrke makroalger i sjø må man kjenne og beherske hele livssyklusen til planten. Tang og tare danner sporer når de blir fertile. For sukkertare kan man ved å endre døgnlengden via lysstyring i laboratorium manipulere plantene til å danne sporer året rundt [19]. Etter sporeslipp vil sporene feste seg til et “fast” underlag (vekstsubstrat), som for eksempel tau, tekstiler eller flak av plastmateriale, og videre vokse til små planter (“kimplanter”) som kan settes ut i sjøanlegg. For sukkertare varer denne perioden i 4–6 uker. Det forskes for å korte ned og effektivisere denne fasen. Det er også mulig å sprøyte sporer direkte på vekstsubstratet ved utsett i sjø.

I sjøanlegg festes vekstsubstratet vertikalt, horisontalt eller på skrå i vannsøylen. For at plantene skal vokse bra må anleggene plasseres slik at det når tilstrekkelig med sollys ned til plantene, og i Norge er det oppnådd best resultater ved å dyrke fra 1–8 meters dyp under overflaten (se [24], upubliserte resultater og figur 3.20). Dyrkingsanleggene forankres på sjøbunnen og er synlige på overflaten som bøyer på rekke og rad (se figuren på forsiden). Miljøbetingelsene vil ha betydning for selve utformingen av et anlegg, som dimensjonering av

Tabell 3.1: Makroalgearter som er aktuelle for industriell dyrking i Trøndelag. Tallene indikerer grove intervaller for god respons (vekst, fotosyntese, opptak) til de ulike variablene. Tallene i hakeparentesene er referanser til kilder der variabelverdiene kan finnes eller blir drøftet nærmere. De presise verdiene for optimal vekst er ikke kjent for de fleste arter. "Dolken" † antyder at tallene ikke er kjent, eller at de er kvalifisert gjetning basert på delvis usikre kilder. Denne tabellen er gjengitt etter [11]. Se også avsnitt 3.3.

Art	Temperatur	Salinitet	Næringssalt (N)	Vannstrøm
Søl (<i>Palmaria palmata</i>)	6 – 14 °C †	$S > 25$ [55] †	†	†
Sukkertare (<i>Saccharina latissima</i>)	10 – 15 °C [9, 12]	$S > 25$ [7]	$> 4 \text{ mmol DINm}^{-3}$ †	0 – 0,25ms ⁻¹ [28]
Butare (<i>Alaria esculenta</i>)	< 16 °C [33]	$S > 25$ †	†	> 0,1ms ⁻¹ †
Fingertare (<i>Laminaria digitata</i>)	5 – 15 °C [28]	$S > 25$ [28]	$\geq 10 \text{ mmol DINm}^{-3}$ [28]	> 0,25ms ⁻¹ [28]

forankring og lignende. Ved dyrking i stor skala må man ta hensyn til at det skal være praktisk mulig å sette ut store mengder kimplanter. Biomassen utgjør gjerne 2–10 kg per meter tau ved innhøsting, og dette stiller krav til effektiv innhøstingsteknologi, som nå er under utvikling. Lab- og sjøfasen i makroalgedyrking er vist i [11].

Erfaringsgrunnlaget fra dyrking av makroalger langs norskekysten er fortsatt begrenset, men det er gjennomført mange dyrkingsforsøk [19, 24, 20, 21, 30, 31, 32], og det er flere kommersielle aktører som nå dyrker makroalger, spesielt sukkertare og butare. Se for øvrig kapittel 4. Så langt synes det hensiktsmessig å sette ut kimplanter om høsten (frem til november) eller i februar, og høste inn fra april til juni. Se også [11]. Dyrkingsstrategien er avhengig av hva biomassen skal anvendes til. Dyrking i åpent hav vil kreve andre typer anlegg enn dyrking i beskyttede områder nær land. Vi kan ikke gå nærmere inn på fordeler og ulemper ved ulike dyrkingsmetoder eller -teknologier her, men valg av fremgangsmåte vil utvilsomt kunne påvirke resultatet.

Dyrking av makroalger i sjø krever fasiliteter for kimplanteproduksjon og vekstsubstrat (se figur 4.4). Fordi stedege fenotyper bør benyttes for å unngå genetisk blanding med lokale populasjoner, er det hensiktsmessig at slike fasiliteter finnes lokalt for å redusere transportavstanden til utsett.

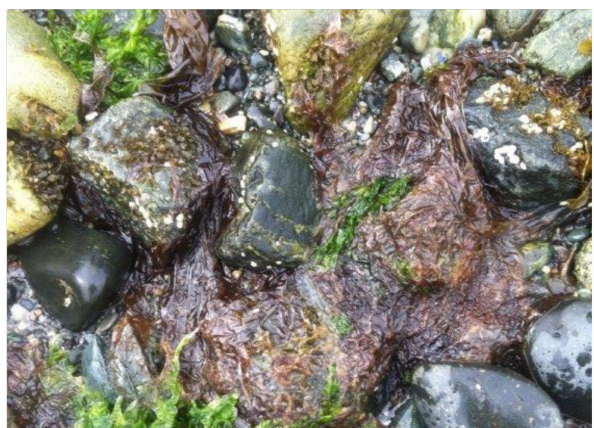
Det er i dag ikke mulig å vurdere det industrielle potensialet til alle de nesten 500 norske makroalgene. Det finnes for de aller fleste artenes del svært lite kvantitativ informasjon om vekstrater og hvilke kombinasjoner av miljøbetingelser som gir gode vekstforhold. Se likevel tabell 3.1. Med tanke på industriell dyrking i sjø nå eller i nær fremtid er det arter som det allerede finnes dyrkingsteknologi for som er aktuelle. For følgende arter finnes det gode protokoller for dyrking:

- sukkertare (*Saccharina latissima*, brunalge) [46, 19, 24, 39, 30]
- fingertare (*Laminaria digitata*, brunalge) [15]
- butare (*Alaria esculenta*, brunalge) [6, 39]
- søl (*Palmaria palmata*, rødalge) [55, 46]
- fjærehinne (*Porphyra umbilicalis*, rødalge) [8, 29]
- havsalat/andre grønnalger (*Ulva lactuca*, *Ulva spp*) [34].

Dette er de mest aktuelle makroalgeartene for industriell dyrking i Trøndelag nå. Konklusjonen i en tilsvarende rapport for Møre og Romsdal [11] var den samme.

3.3 Gode områder for makroalgedyrking i Trøndelag

Langs norskekysten vokser makroalger i en begrenset sone ned til 40–50 m dyp [42]. Under naturlige forhold vokser makroalgene stort sett på en type fast underlag, men de kan også feste seg til mindre steiner og lignende. I biomasse er det stortare (*Laminaria hyperborea*) som dominerer de naturlige bestandene. Den totale, stående biomassen av stortare langs norskekysten er anslått til 50–60 millioner tonn våtvekt [52]. I [41] ble den stående biomassen av stortare langs den ytre delen av kysten av Møre og Romsdal fra Lepsøya til Aukra anslått til mellom



Figur 3.4: Øverst fra venstre med klokken: sukkertare, butare, søl (*P. palmata*) og fjærehinne (*P. umbilicalis*). Alle foto: SINTEF.

2,1 og 4,3 millioner tonn våtvekt. Ved dyrking brukes tauverk, flak av ulike typer eller andre strukturer som er forankret i sjøbunnen som dyrkingssubstrat. Dermed er det i utgangspunktet betydelig større arealer tilgjengelig for dyrking enn for høsting av naturlige bestander.

Figur 3.5 viser en *indeks* for dyrkingspotensialet for sukkertare for hele Midt-Norge. Indeksen er normalisert, slik at de beste områdene har verdien 1. Se ligning (2). Indeksen sier ikke noe direkte om hvor mye man kan høste, men antyder hvor det kan være best potensial for vekst under ellers helt like betingelser. Den generelle trenden er at produksjonspotensialet blir større jo lenger ut man kommer fra kysten. De potensielt beste områdene ligger utenfor sokkelsklråningen i Atlanterhavsstrømmen.

Ser man på havområdene i Trøndelag er bildet litt annerledes. I motsetning til i Møre og Romsdal ([11]) ligger sokkelsklråningen (mer enn 500 m bunndyp) langt ute. Simuleringsresultatene tyder på at det i Trøndelag finnes svært gode områder for tare dyrking innenfor grunnlinjen. Se figur 3.6. Også her er det gode områder på sokkelen utenfor grunnlinjen, spesielt rundt Haltenbanken. Men de potensielt beste områdene finnes her innenfor grunnlinjen: Nordøst av Frøya, rett sør for Gjæsingen, rundt Froan, den sørlige delen av Frohavet og området rundt Storfosna og utløpet av Trondheimsfjorden.

Vi finner igjen dette mønsteret dersom vi ser på de områdene med indeks i øvre kvartil, eller de 25 % beste områdene i Trøndelag (figur 3.7). Enten man ser på området innenfor eller både innenfor og utenfor grunnlinjen, er det i området rundt Frohavet at det grunnleggende potensialet for makroalgeproduksjon ser ut til å være størst vurdert ut fra modellresultatene.

Modellresultatene gir også informasjon om tidsutviklingen av plantestørrelse og biomasse. Figur 3.8 viser den simulerte utviklingen av planter fra de fire stasjonene i figur 3.6, for fire ulike år og utplanting i september og februar.

Som nevnt er ikke det kvantitative grunnlaget for å vurdere egnetheten til ulike dyrkingsområder for andre makroalgearter enn tare på plass. Vi har likevel gjort en enkel regneøvelse for søl (*P. palmata*) som et eksempel på hvordan man videre kan bruke resultatene fra havmodellen SINMOD, og hva man kan forvente når den kvalitative forståelse av vekst hos denne arten er bedre. Figur 3.9 viser to indekser for søl, basert på to ulike verdier av halvmetningskonstanter (se for eksempel [44], kapittel 7) for næringsbegrenset vekst (se appendiks A.1.2). Det er brukt to ulike verdier fordi verdien av denne halvmetningskonstanten ikke er kjent. Vi kjenner igjen mange av de samme mønstrene som i figur 3.7. Dette er er å forvente siden figurene 3.7 og 3.9 begge er basert på den samme havmodellen. Vi ser videre at indeksten reduseres når verdien av halvmetningskonstanten øker.

3.4 Potensialet for dyrking av makroalger i Trøndelag

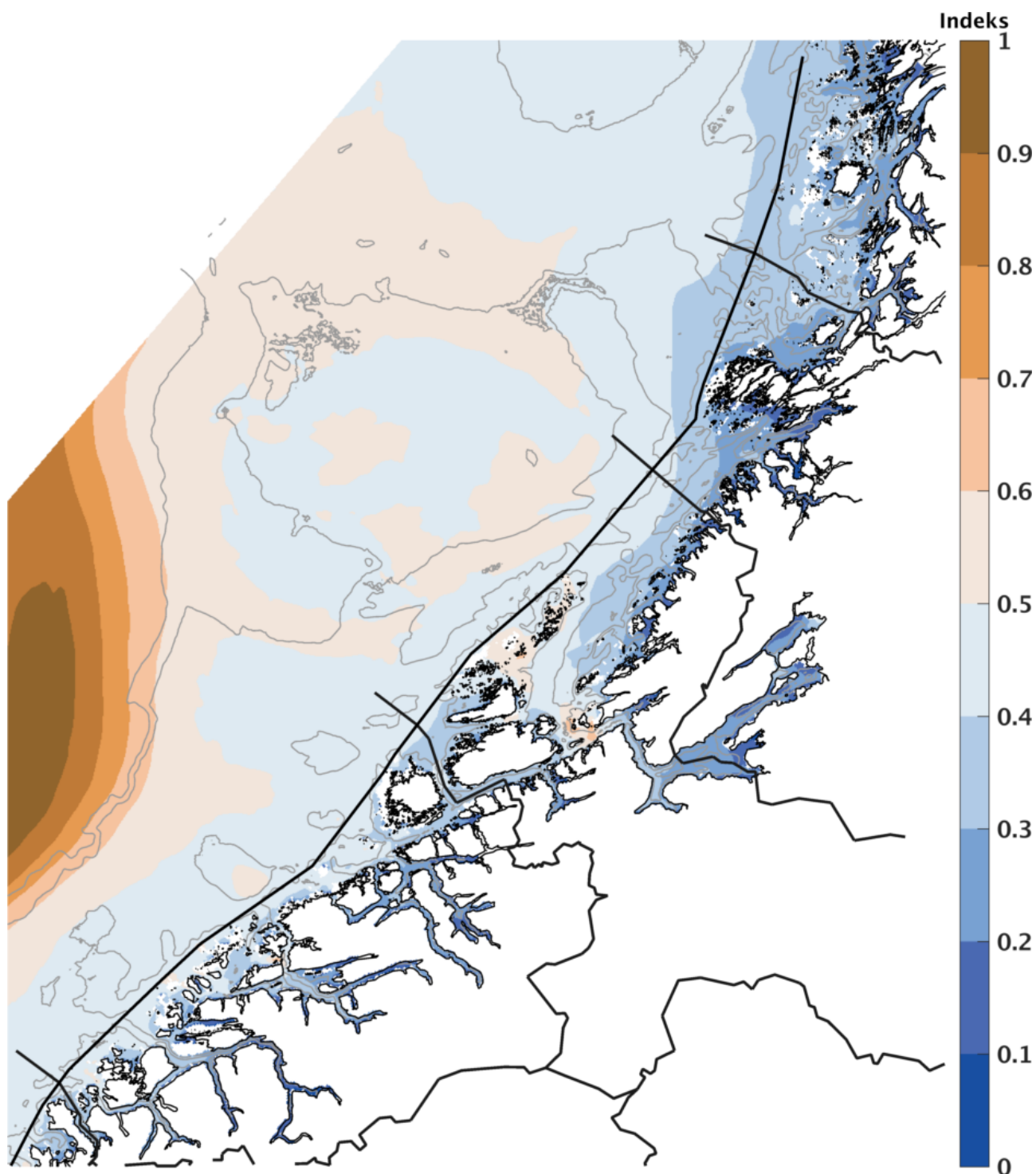
Indeksen for produksjonspotensial som ble presentert i avsnitt 3.3 integrerer utsett- og innhøsting av sukkertare til alle mulige tidspunkt gjennom fire år, men sier i utgangspunktet ingenting om hvor mye biomasse som kan dyrkes, verken totalt eller per arealenhet. I dette avsnittet blir resultater for enkelplanter fra simuleringene omregnet til biomasse. Omregningen er konsekvent, men tar ikke hensyn til for eksempel ulik mortalitet eller ulike antall planter ved ulike lokaliteter. Det blir imidlertid tatt hensyn til *hvor lenge* plantene har stått ute (se 9 i avsnitt A.1.3).

Vi har inndelt Trøndelag og havområdet utenfor i fem regioner som vi ser nærmere på i resten av dette avsnittet: sokkelen utenfor kysten av Trøndelag, Hitra, Frøya og Frohavet, Trondheimsfjorden, kysten av Fosenhalvøya og Nord-Trøndelag utenom Trondheimsfjorden. Kun i det første området ser vi utenfor grunnlinjen. Resultatene er oppsummert i figur 3.11.

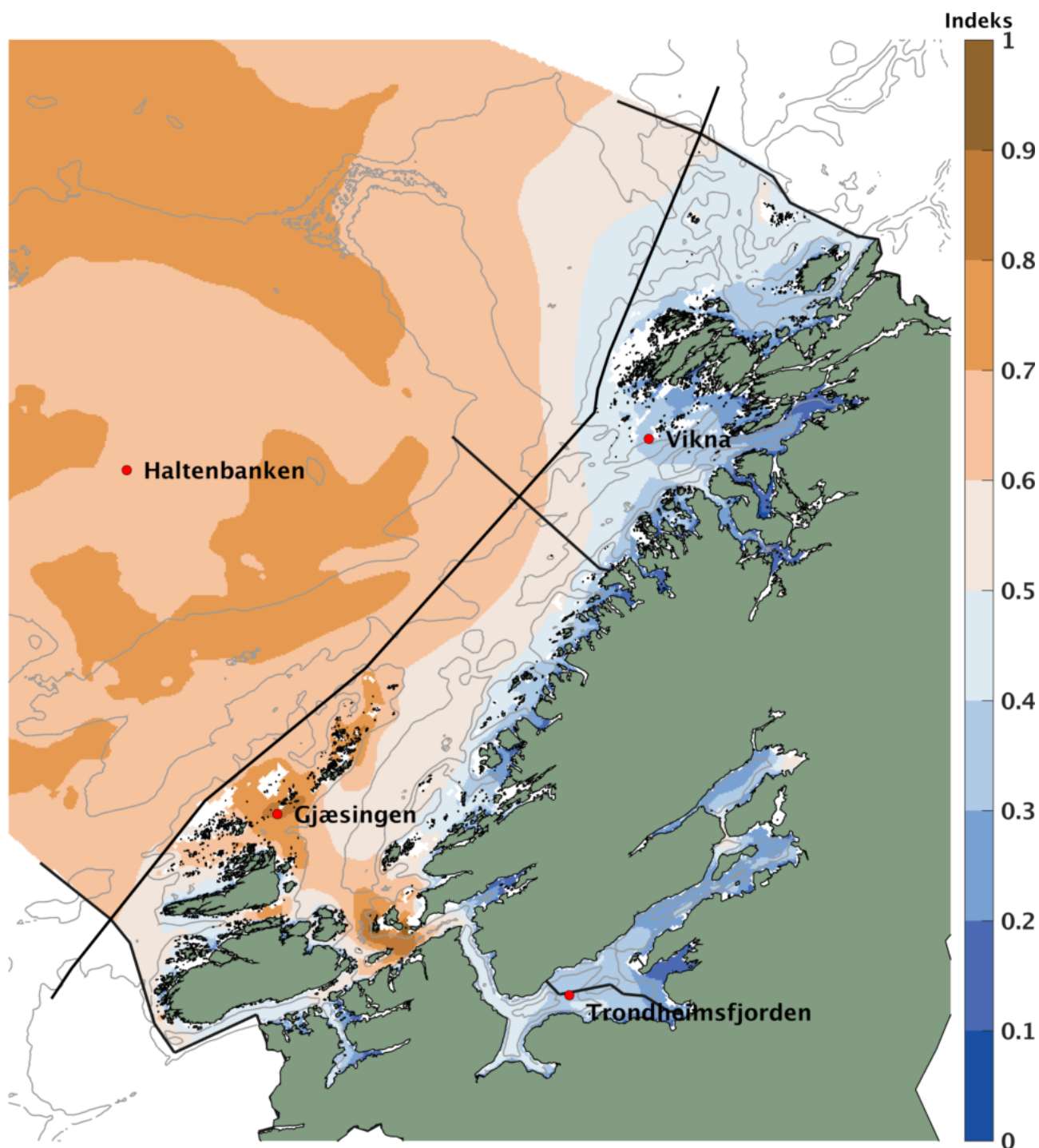
Det er også tatt med eksempler på mulige plasseringer av dyrkingsanlegg eller dyrkingsområder. Dette er ikke ment som forslag, men eksempler på hvordan resultatene kan brukes til å vurdere lokaliteter i sammenheng med produksjonspotensial på den ene siden og andre aktiviteter (farled, fiskeri etc) på den annen.

Resultatene i dette avsnittet er basert på vekstmodellen for sukkertare, og biomasseestimatene er ikke gyldige for andre arter. Som for dyrkingsindeksen i avsnitt 3.3 vil likevel en *kvalitativ* sammenligning av resultatene fra ulike dyrkingslokaliteter kunne gi en pekepinn på hvor det generelt sett er bra å dyrke makroalger generelt.

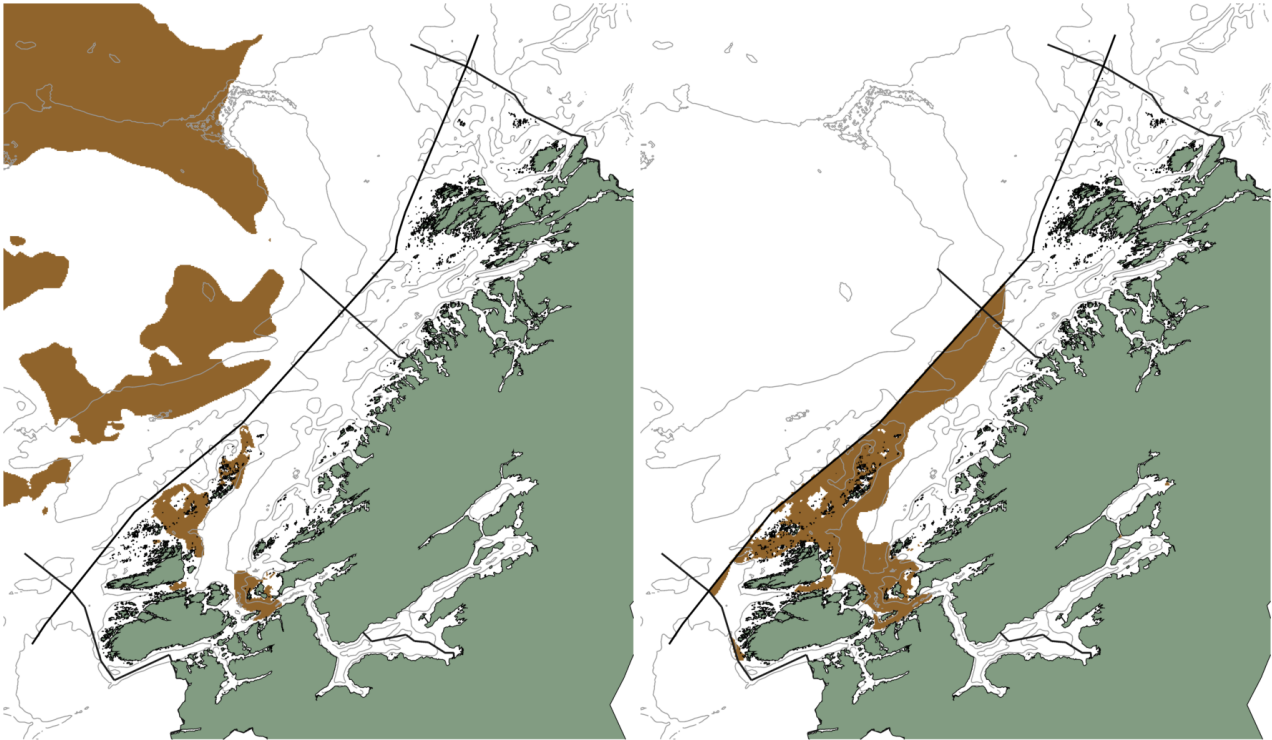
Vi diskuterer noen andre perspektiver knyttet til biomasse fra makroalger i delavsnitt 3.4.6.



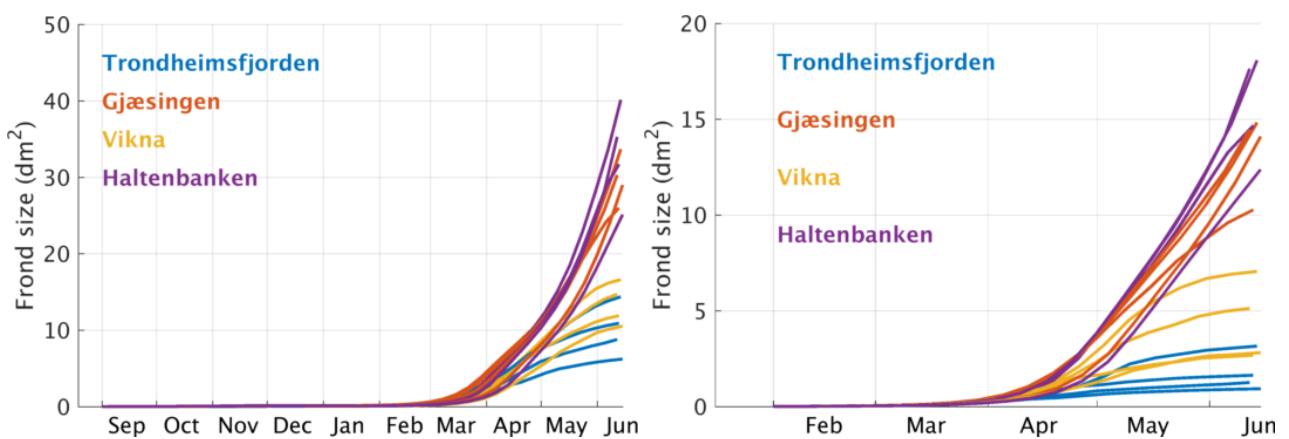
Figur 3.5: Indeks for dyrkingspotensial for sukkertare i Midt-Norge. Simuleringer for perioden 2012-2016 ligger til grunn.



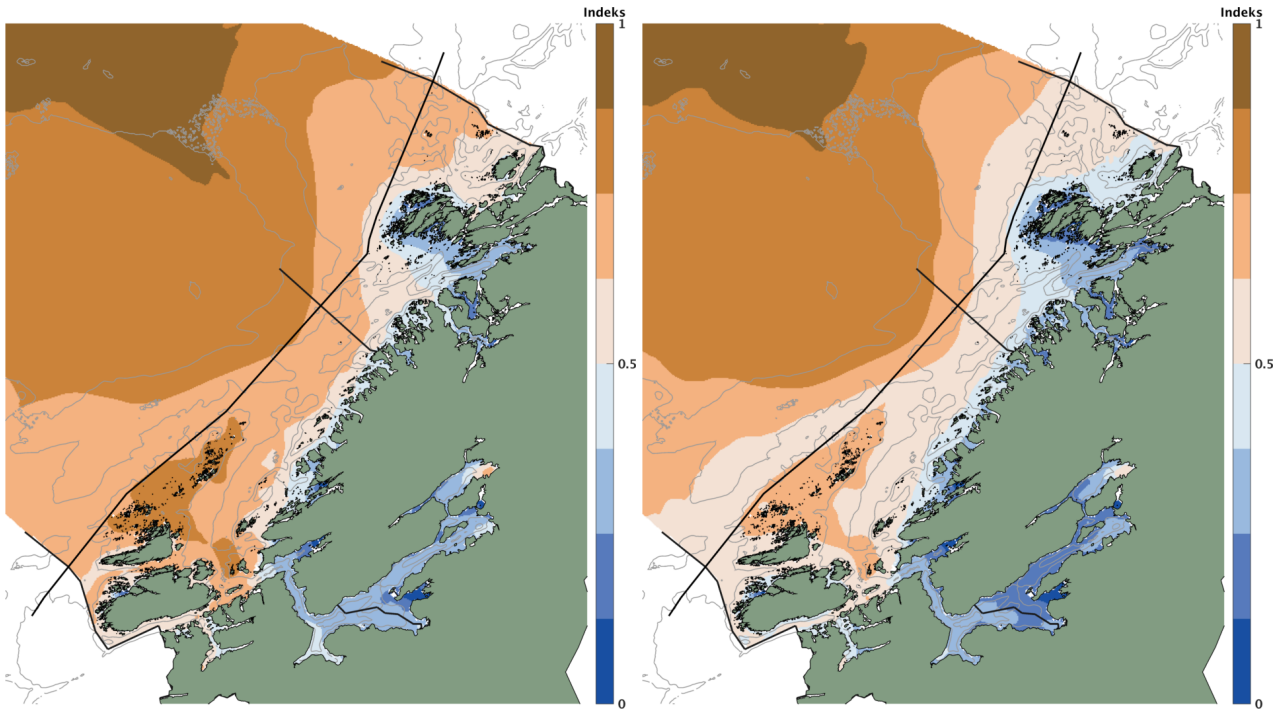
Figur 3.6: Indeks for dyrkingspotensial for sukkertare i Trøndelag. Simuleringer for perioden 2012-2016 ligger til grunn. Legg merke til at potensialet er normert (den høyeste verdien er 1), og at normering er gjort innen kartutsnittet som er vist, slik at fargeleggingen er annerledes enn i figur 3.5. De røde sirklene viser hvor tidsseriene i figur 3.3 ble hentet ut.



Figur 3.7: *Venstre*: De brune feltene angir de 25 % beste områdene fra indeksen i figur 3.6 (øvre kvartil). *Høyre*: samme som venstre, men med utgangspunkt utelukkende i områdene innenfor grunnlinjen.



Figur 3.8: Simulert tidsutvikling av bladstørrelse hos sukkertare ved de fire stasjonene i figur 3.6 for de fire dyrkingssezonene 2012–2016. *Venstre*: Dyrking fra september til juni påfølgende år. *Høyre*: Dyrking fra februar til juni.



Figur 3.9: En regneøvelse. En indeks for det grunnleggende dyrkingspotensialet for søl. Indeksen er basert på simuleringen med modellen i 800 m oppløsning for perioden januar til juni 2016. Figurene viser indeksen for to ulike halvmetningskonstanter for næringsbegrenset vekst. *Venstre: $K = 2$. Høyre: $K = 5$.*

3.4.1 Sokkelen utenfor kysten

Havområdet *utenfor* Trøndelag blir her betraktet som havområdet på kontinentalsokkelen, utenfor grunnlinjen ut til 500 m bunndyp og avgrenset av rettlinjede forlengelser av fylkesgrensene mot Møre og Romsdal og Nordland. Modellområdet som er brukt i simuleringene har ikke fulgt sokkelskråningen, slik at ikke hele den “trønderske” kontinentalsokkelen er tatt med her, og området er dermed delvis kunstig avgrenset.

Potensialet for biomasseproduksjon ved dyrking utenfor grunnlinjen øker stort sett med avstanden fra kysten. Vi ser at det er et ganske jevnt og høyt produksjonspotensial sammenlignet med de nære kystområdene nord for Frohavet (figurene 3.10, C.1). Den relative forskjellen på utsett i februar og september er ikke så stor.

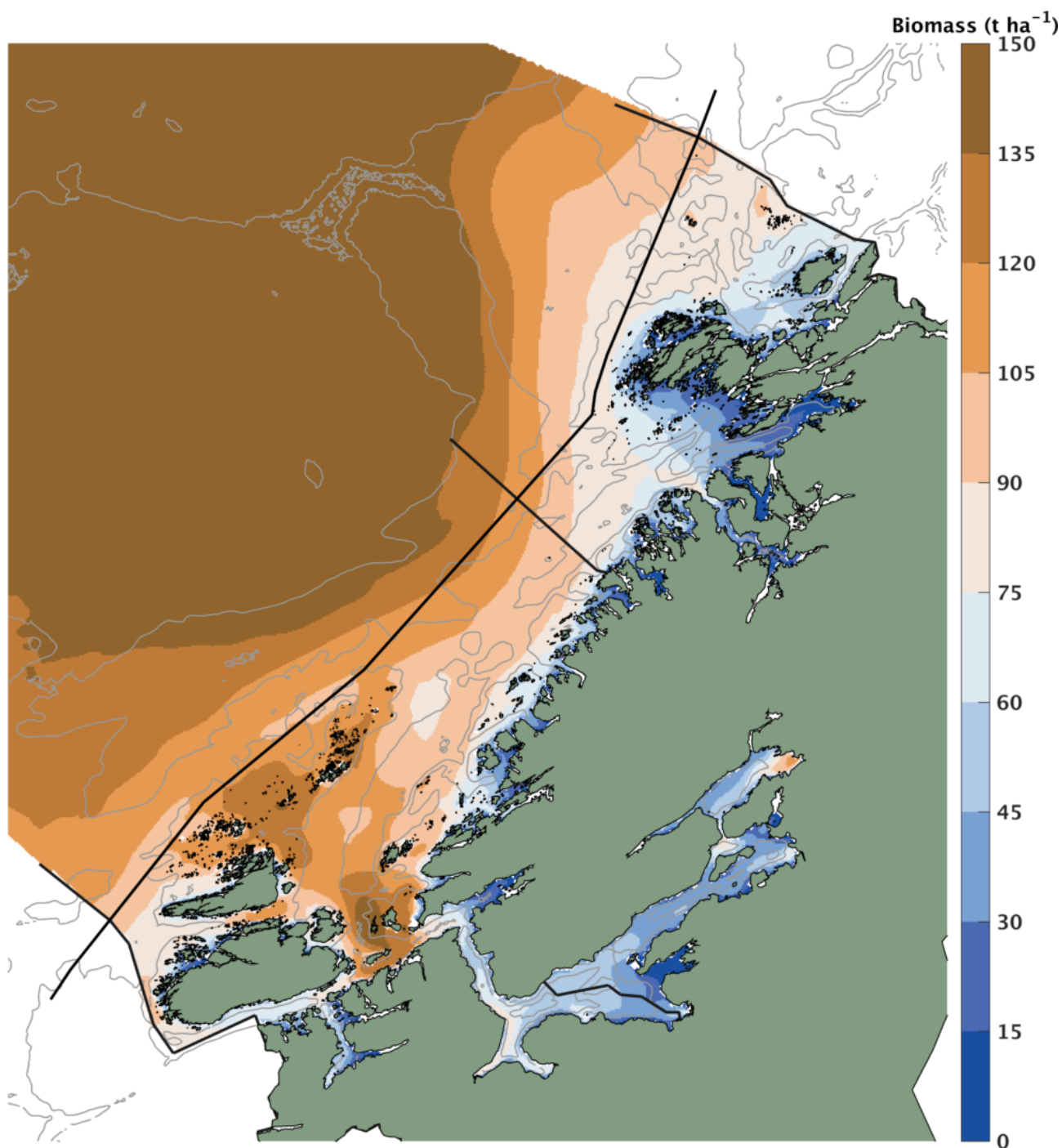
Det store dyrkingspotensialet her skyldes at vann fra den nordatlantiske strømmen, som går langs sokkelskråningen, blandes inn over sokkelen. Det atlantiske vannet har generelt mer stabil temperatur (høyere om vinteren og potensielt litt lavere om sommeren) og høyere næringssaltkonsentrasjon enn kystvannet, noe som bidrar til bedre betingelser for makroalgedyrking. Lysgjennomtrengingen i det atlantiske vannet er også bedre enn i kystvannet. Alt dette illustreres kanskje best med figur 3.5. Se også [11].

Den gjennomsnittlige biomasseproduksjonen med utsett i henholdsvis september og februar er på 137 og 116 tonn per hektar (figur 3.11). Dette er tall som er midlet over hele området og over fire år.

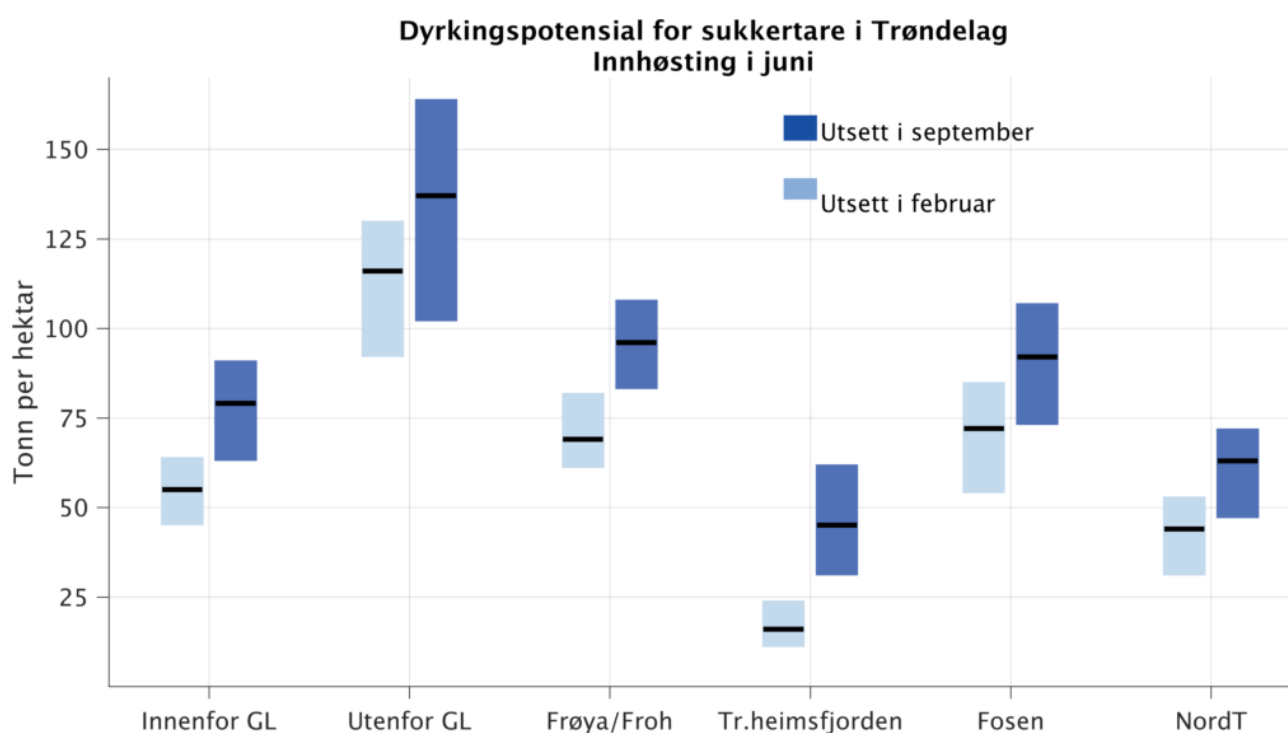
Merk at man ikke kan sammenligne biomasseestimatene direkte med indeksen for produksjon (figur 3.6), siden denne tar hensyn til alle mulig utsett- og innhøstingstidspunkt over fire år. Biomasseresultatene forutsetter utsett i februar og innhøsting 1. uke i juni.

3.4.2 Hitra, Frøya og Frohavet

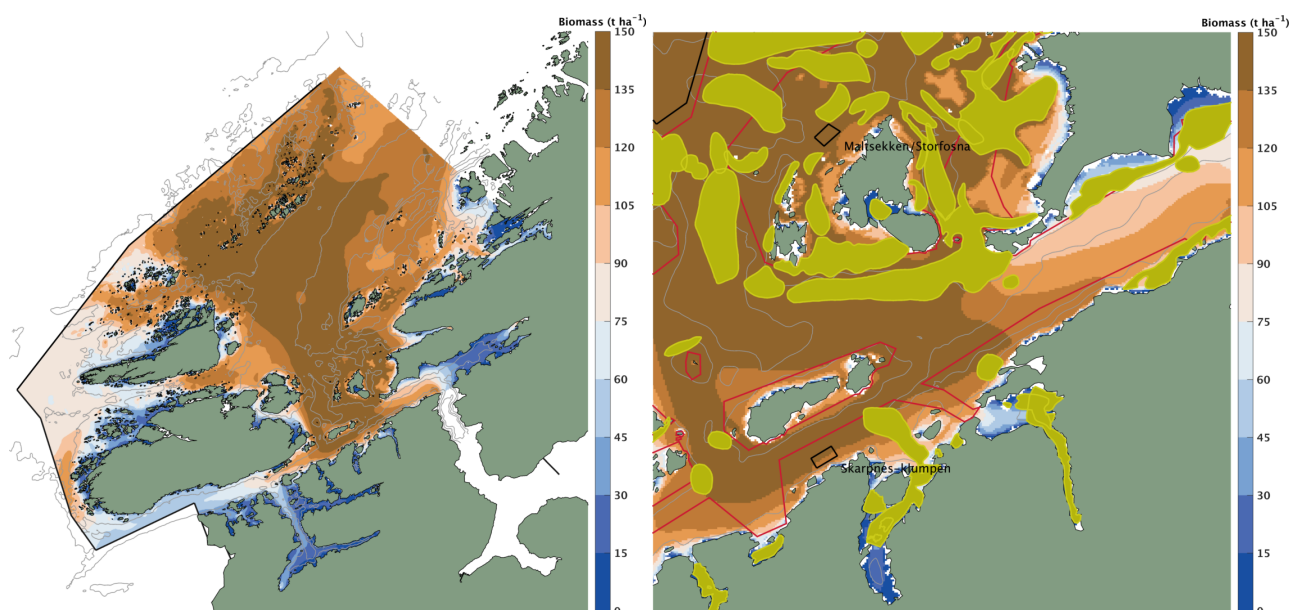
Her ser vi på området fra fylkesgrensen mot Møre og Romsdal til Linesøya, unntatt Trondheimsfjorden som behandles for seg i neste avsnitt (figur 3.12). Resultatene i figur 3.6 antyder at noen av de potensielt beste områdene for dyrking av makroalger (målt med tanke på volum) ligger i dette området. Spesielt ser områdene



Figur 3.10: Simulert produksjonspotensial for sukkertare i Trøndelag. Tallene oppgir våtvekt per hektar og forutsetter utsett i begynnelsen av september og innhøsting i begynnelsen av juni påfølgende år. Tallene er gjennomsnittsverdier for perioden 2012-2016.



Figur 3.11: Gjennomsnittsverdier for simulert produksjonspotensial for sukkertare. Tallene viser romlig middel (altså over hele det gjeldende området) for produksjonspotensial per hektar med utsett i februar (lyseblått) og september (blått). De svarte strekene viser gjennomsnittet over de fire sesongene fra 2012-2016, mens søylene antyder minimums- og maksimumsverdier over denne perioden. Høyden på søylene forteller oss altså noe om den mellomårlege variasjonen i dyrkingspotensialet grovt sett.



Figur 3.12: Simulert sukkertareproduksjonspotensial i området rundt Frohavet ved utsett i februar og innhøsting i juni. Figurene er basert på resultater fra modellen i 160 m oppløsning. *Til venstre: oversiktsbilde. Til høyre: Illustrasjonseksempel på lokalisering av taredyrkingstillatelser ved Leksafjorden og Storfosna.* Fargeskaleringen antyder simulert potensial for biomasseproduksjon per arealenhet fra februar til juni, 2016. De tynne, grå kurvene er 100, 200 og 300 meters dybdekonturer. De røde linjene avgrensar farledsareal, mens de gulgrønne feltene er fiskerisoner. Dataene for farled og fiskeriområder er lastet ned fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Anlegget ved Leksafjorden dekker 54 ha med en produksjon på 7326 tonn, mens anlegget ved Storfosna dekker 51 ha med en produksjon på 7130 tonn.

rundt Gjæsingen, Froan og utløpet av Trondheimsfjorden/Storfosna bra ut (figur 3.12). Området rett sør for Inntian og inn i østre del av Dolmsundet er også bra. Endelig er den sørlige delen av Frohavet interessant.

Det estimerte gjennomsnittlige produksjonspotensialet i området i figur 3.12 (de fargede feltene) er henholdsvis 96 og 69 tonn per hektar med utsett i henholdsvis september og februar og innhøsting i juni (figur 3.11).

Modellresultatene tyder på at dette området, isolert sett, er det med størst potensial for biomasseproduksjon i Trøndelag, i det minste blant kystnære farvann (se imidlertid [11]). Området rundt Frohavet er også et område der det allerede foregår mye, ikke minst havbruk. Også farled, fiskeri, naturvernområder, tursime etc skal ha plass. Det er i en slik sammenheng at data og verktøy for å velge lokaliteter er spesielt nyttig. I figur C.5 er det tegnet inn noen eksempler på anlegg som ikke kommer i konflikt med andre interesser, eventuelt bortsett fra estetikk. Det er gode muligheter for å finne arealer med stort dyrkingspotensial som ikke kommer i konflikt med andre interesser.

3.4.3 Trondheimsfjorden

Trondheimsfjorden har et overflateareal på rundt 1400 km². Topografisk sett er fjorden delt i tre deler, med Ytterfjorden fra Agdenes til terskelen ved Tautra, Midtfjorden fra Tautra til Skarnsundet og Beistadfjorden innerst. Fjorden er preget av ferskvannsavrenning fra en rekke store elver og nærings saltbidrag fra jordbruk. Egil Sakshaugs bok [45] tar for seg stort sett de fleste aspekter ved Trondheimsfjorden og anbefales. Oseanografien beskrives detaljert i [17].

Ser vi på indeksen for potensiell produksjon skårer Trondheimsfjorden lavt i forhold til kystområdene rett utenfor utløpet (figur 3.6). Det beste områdene ser ut til å ligge i Orkdalsfjorden og i midtfjordenden av Skarnsundet. For øvrig er det bra dyrkingspotensial utenfor utløpet av alle de største elvene i fjorden (Orkla, Gaula,

Nidelav, Stjørdalselva, Verdealselva og Steinkjerelva). Modellen som er brukt til å etablere indeksen er for grov til å kunne gjengi strømforholdene i Trondheimsfjorden bra, og spesielt gjelder dette i Midtfjorden og Beistadfjorden. Imidlertid ser vi mye av det samme bildet (figuren til høyre) i en kortere simulering (februar til juni) med en modell for Trondheimsfjorden i høyere romlig oppløsning. Der er potensialet langs vestsiden av Korsfjorden spesielt uttalt. Modellen tar hensyn til blant annet ferskvann- og nærings saltavrenning fra land, men datagrunnlaget for nærings salt er ikke spesielt detaljert, og det er mulig betydningen av dette er overdrevet i modellen.

Når dyrkingspotensialet i Trondheimsfjorden ser ut til å være lavere enn i områdene utenfor fjorden, skyldes nok det i stor grad generelt dårligere tilgang på nærings salt, noe som igjen skyldes en kraftig lagedling av vannmassene gjennom ferskvannsbidrag fra elver (se figur 3.3). Et annet aspekt som er viktig for dyrkingsindeksen er lysgjennomtrengning. Generelt er fjordvannet betydelig mørkere en kyst- og havvannet utenfor fjorden. I enkelte områder kan antagelig også saltholdigheten bli for lav. Forsøk har vist at sukkertare ser ut til å få redusert vekst ved saltholdighet lavere enn 25 PSU, og kan bli permanent skadet dersom saltholdigheten synker til 10 [31]. Naturlige bestander er nok ikke så utsatt for dette siden de gjerne vokser litt dypere enn i ferskvannslaget i overflaten. På grunn av det mørke fjordvannet er det imidlertid ikke sikkert det vil hjelpe å dyrke sukkertaren dypere enn 10 m, siden det kan føre til problemer med lystilgangen. Igjen må man tenke på at de naturlige bestandene ikke blir evaluert på samme måte med tanke på biomasseproduksjon og veksthastighet med blick på høsting, og langsommere vekst er ikke nødvendigvis et problem. Problemet med saltholdigheten ser ikke ut til å være like uttalt for fingertare (*Laminaria digitata*) [31], selv om resultatene spriker litt (se [11]). Derfor må man også se på muligheten for dyrking av andre arter enn sukkertare.

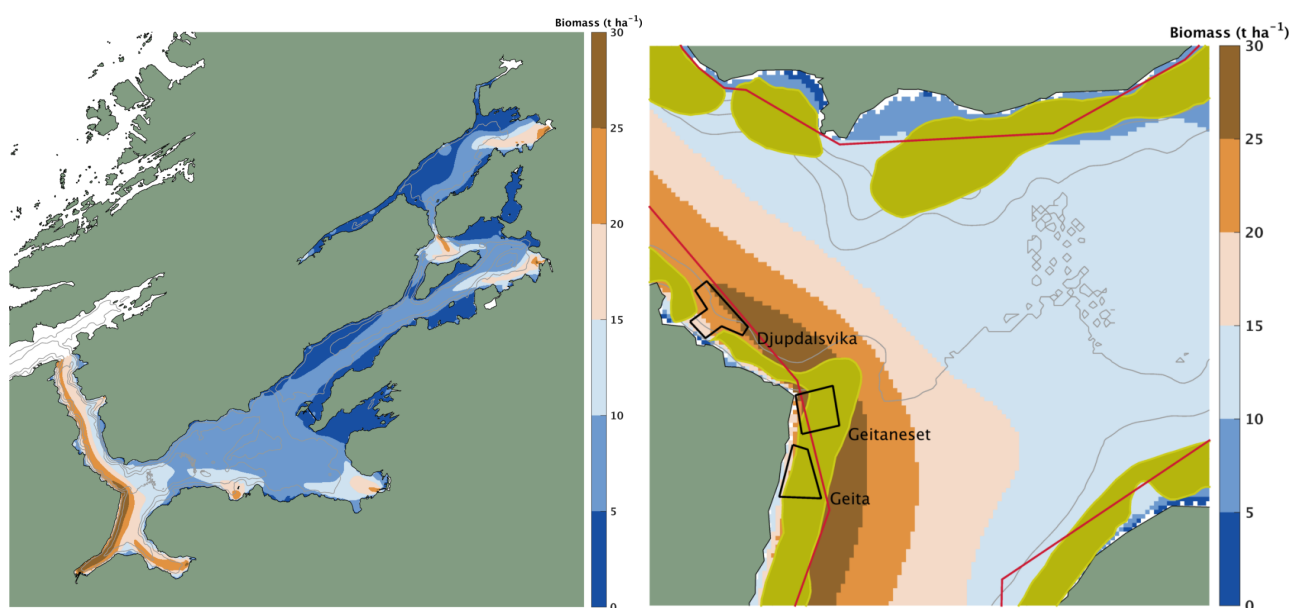
I figur 3.13 og C.3 er det tegnet inn fire plasseringer av tareanlegg på rundt 50 ha. Et av anleggene rundt Geitaneset kommer i konflikt med både farled og fiskeri, mens ett av dem kommer i konflikt med fiskeri. De to "konfliktanleggene" har størst potensial for biomasseproduksjon (i følge modellresultatene). Anlegget som ikke er i konflikt er altså et kompromiss.

3.4.4 Fosenkysten

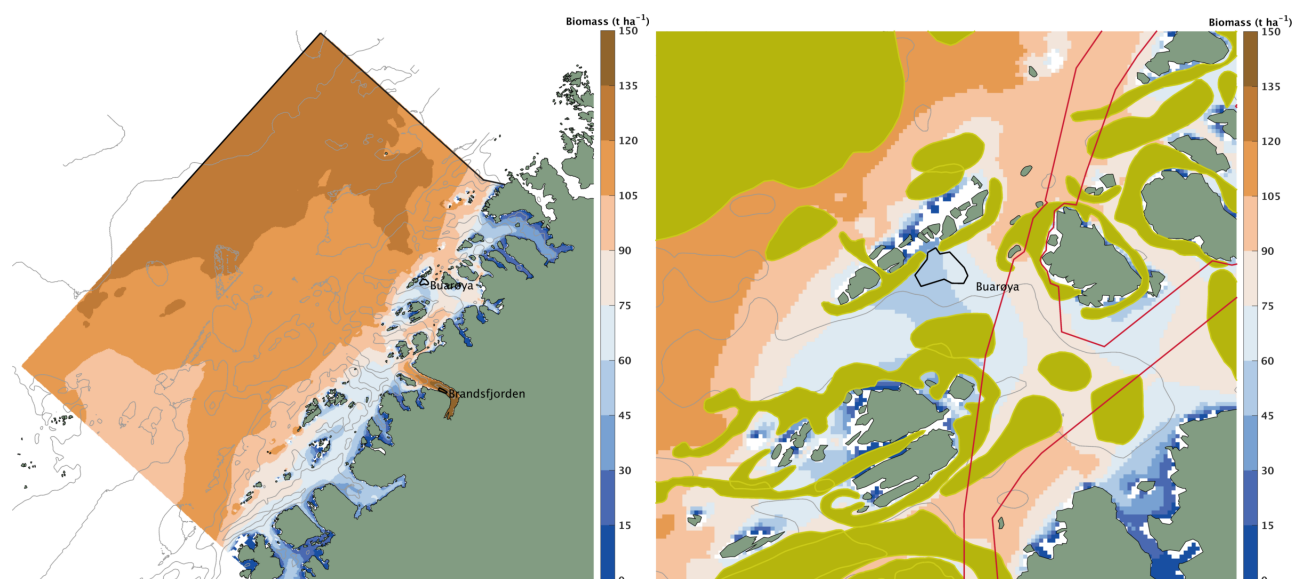
Dette området (figur 3.14, venstre) ligger i gjennomsnitt på omtrent samme nivå som Frohav-området: produksjonspotensial 72 (92) tonn per hektar ved utsett i februar (september) og innhøsting i juni. Dyrkingspotensialet øker stort sett jevnt med avstanden fra land. Dermed ligger områdene med størst dyrkingspotensial i åpent hav. Utover det ser likevel dyrkingspotensialet ut til å være bra også i de fleste fjordene. Det er mange fiskeriområder og lakseoppdrettsanlegg her, så det kan enkelte steder være utfordrende å unngå konflikter. I figur 3.14 (høyre) er det tegnet inn et anlegg ved Buarøya. Det kommer ikke i noen direkte konflikt med andre interesser. Modellresultatene antyder at dyrkingspotensialet er bedre på utsiden av buarøya enn på innsiden. Her kan imidlertid bølge- og strømforholdene være mer utfordrende. Eksempelet er lagt på innsiden for å illustrere ulike valg og muligheter og utfordringene knyttet til konfliktareal.

3.4.5 Nord-Trøndelag (utenom Trondheimsfjorden)

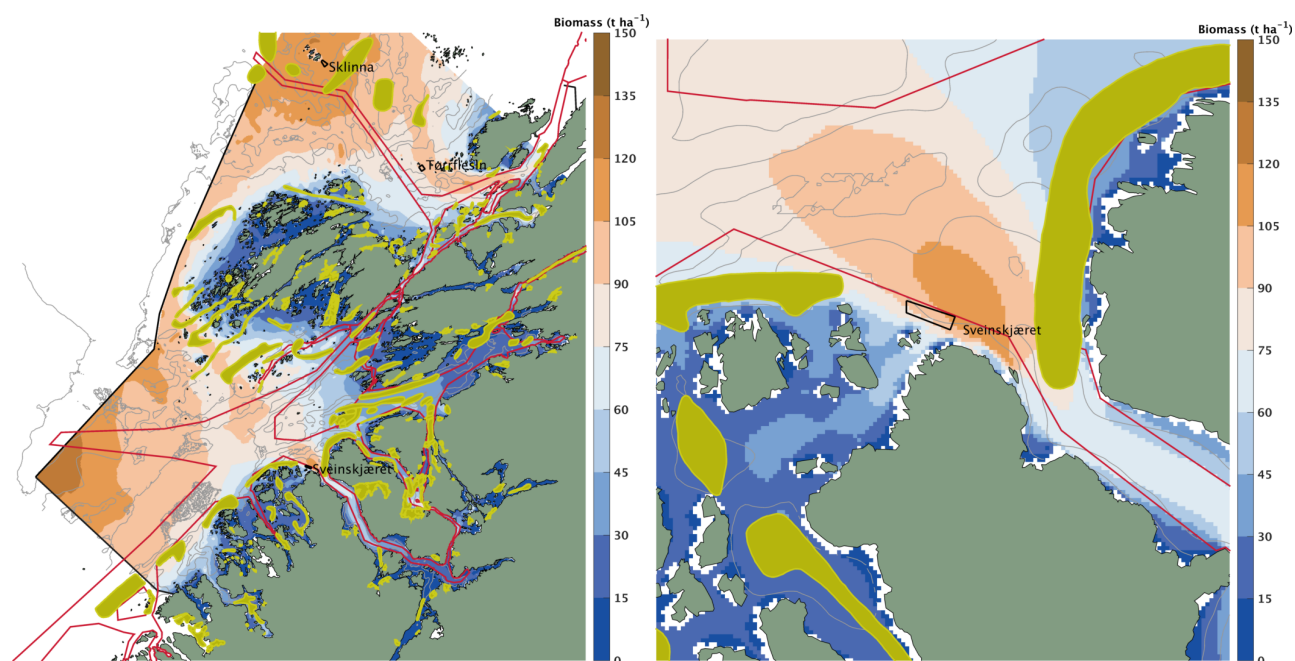
Her er det gjennomsnittlige dyrkingspotensialet på 44 (63) tonn per hektar ved usett i februar (september) og høsting i juni. Som for de andre delregionene antyder modellresultatene en viss mellomårlig variasjon. Forholdene er best i den sørlige delen av området (fylket) og nord for Vikna (3.6). I Foldafjorden og området utenfor dennes utløp avgrenset nordfra av Vikna domineres vannmassene av ferskvann fra Namsenfjorden (Namsen vannføring tilsvarer omtrent halvparten av den totale vannføringen til alle elvene i Trondheimsfjorden). Dette fører til lagdeling av vannmassene og dermed mindre tilgang på nærings salter i overflatelaget. Se figur 3.3. Dette er en av grunnene til at produksjonspotensialet i Foldafjorden dette området kan virke lavere enn langs kysten av Fosen. Det er også periodevis lav saltholdighet her, noe som også kan bidra til å påvirke veksten negativt. På den annen side er det for eksempel gode områder i utløpet av Namsenfjorden (figurene 3.15 og C.4). Dette skyldes oppblanding av næringsrikt vann langs vestsiden av utløpet.



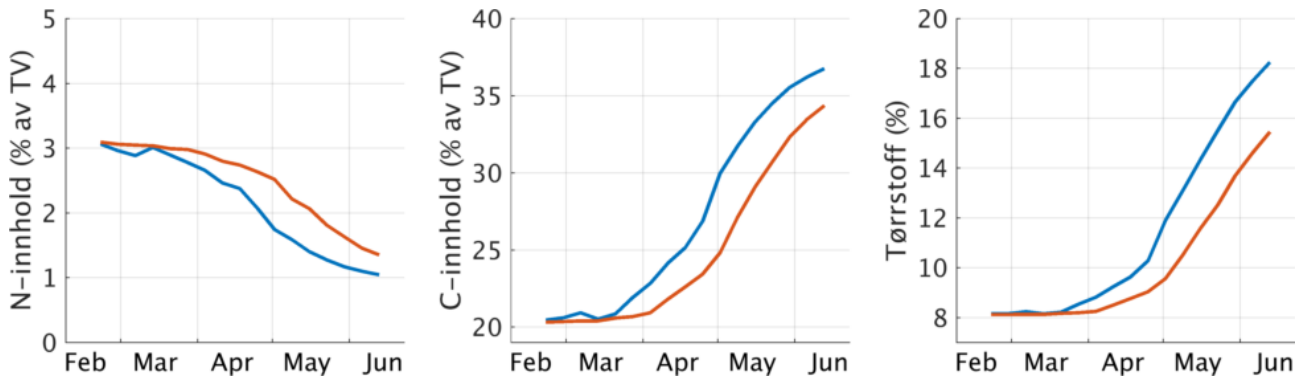
Figur 3.13: Tareproduksjonspotensialet i Trondheimsfjorden ved utsett i februar og innhøsting i juni. *Til venstre:* oversiktsbilde. *Til høyre:* Illustrasjonseksempler på lokalisering av noen tare dyrkingstillatelser i Trondheimsfjorden. Fargeskaleringen antyder simulert potensial for biomasseproduksjon pr arealenhet fra februar til juni, 2016. De tynne, grå kurvene er 100, 200 og 300 meters dybdekonturer. De røde linjene avgrensar farledsareal, mens de gule krvine avgrensar fiskerisoner. Dataene for farled og fiskeriområder er lastet ned fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Det er tegnet inn tre anlegg, hvert på ca 50 ha, rundt Geitaneset ved utløpet av Orkdalsfjorden. Ingen av anleggene var "plassert" i naturvernområder (ikke vist som kartlag), men et av dem er i konflikt med både fiskeri og farled, og ett av dem i konflikt med fiskeri. Totalproduksjon for anleggene (fra øverst til nederst): 1133, 1449 og 1140 tonn.



Figur 3.14: Tareproduksjonspotensialet langs Fosenhalvøys ved utsett i februar og innhøsting i juni. *Venstre:* oversiktsbilde. *Høyre:* Illustrasjonseksempel på lokalisering av en taredykingstillatelse. Fargeskaleringen antyder simulert potensial for biomasseproduksjon per arealenhet fra februar til juni, 2016. De tynne, grå kurvene er 100, 200 og 300 meters dybdekonturer. De røde linjene avgrensar farledsareal, mens de gule krvine avgrensar fiskerisoner. Dataene for farled og fiskeriområder er lastet ned fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Det er tegnet inn et anlegg på ca 50 ha ved Buarøya (total produksjon ca 3090 t).



Figur 3.15: Taredykningspotensialet i Nord-Trøndelag. *Venstre:* oversiktsbilde med fiskeri- og farledsområder. Fargeskaleringen antyder simulert potensial for biomasseproduksjon pr arealenhet fra februar til juni, 2016. De tynne, grå kurvene er 100, 200 og 300 meters dybdekonturer. De røde linjene avgrensar farledsareal, mens de skittengule områ avgrensar fiskerisoner. Dataene for farled og fiskeriområder er lastet ned fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. *Til høyre:* illustrasjonseksempel på lokalisering av et algedyrkingsanlegg ved Sveinskjæret i utløpet av Namsenfjorden. Areal ca 23 ha. Totalproduksjon 2242 t.



Figur 3.16: Eksempler på simulert innhold av nitrogen (til venstre), karbon (i midten) og tørrstoff (til høyre) i sukkertare ved Gjøsing (den røde kurven) og i Trondheimsfjorden (den blå kurven). Innholdet av nitrogen og karbon er oppgitt som prosent av tørrstoffet. Tørrstoffinnholdet er oppgitt som prosent av total våt biomasse.

3.4.6 Andre aspekter ved biomasse fra dyrkede makroalger

Selv om det er endel fokus på ren biomasseproduksjon for makroalger, vil biomassen på mange måter være verdiløs dersom den ikke inneholder noen interessante komponenter. En grov oversikt over endel bruksområder og produktgrupper for biomasse fra dyrkede makroalger blir presentert i [11]. Kiloprisen på ulike komponenter og produkter varierer over flere størrelsesordener. Kartleggingen og forståelsen av hvordan innholdet av ulike komponenter i makroalger varierer i tid og rom er bare så vidt begynt.

Vekstmodellen for sukkertare som er brukt i denne studien gir ikke bare informasjon om biomasse og veksthastighet, men også innhold av karbon og nitrogen. I figur 3.17 har vi tegnet en indeks over simulert nitrogeninnhold i sukkertare. Indeksen er beregnet som den i figur 3.5 bortsett fra at det relative nitrogeninnholdet i tørrstoffet snarere enn tørrstoffet selv er brukt som vektning.

Nitrogenindeksen viser mange av de samme tendensene som tørrvektindeksen (figur 3.17). Det er noen forskjeller også, for eksempel at store deler av områdene som skårer "lavt" på tørrstoffindeksen, gjør det bedre med tanke på nitrogeninnhold. Eksempler på dette er Trondheimsfjorden og områder rundt Vikna. Figur 3.16 viser eksempler på hvordan sammensetningen av sukkertaren kan endre seg gjennom en dyrkingssesong (februar til juni) ved Gjøsing og i Trondheimsfjorden. Figuren er basert på resultater fra simuleringene med modellen i 800 m oppløsning. Nitrogen- og karbohydratinholdet kan si noe om protein- og karbohydratinhold. Tørrstoffinnholdet kan si noe om plantematerialets verdi som menneskeføde [38].

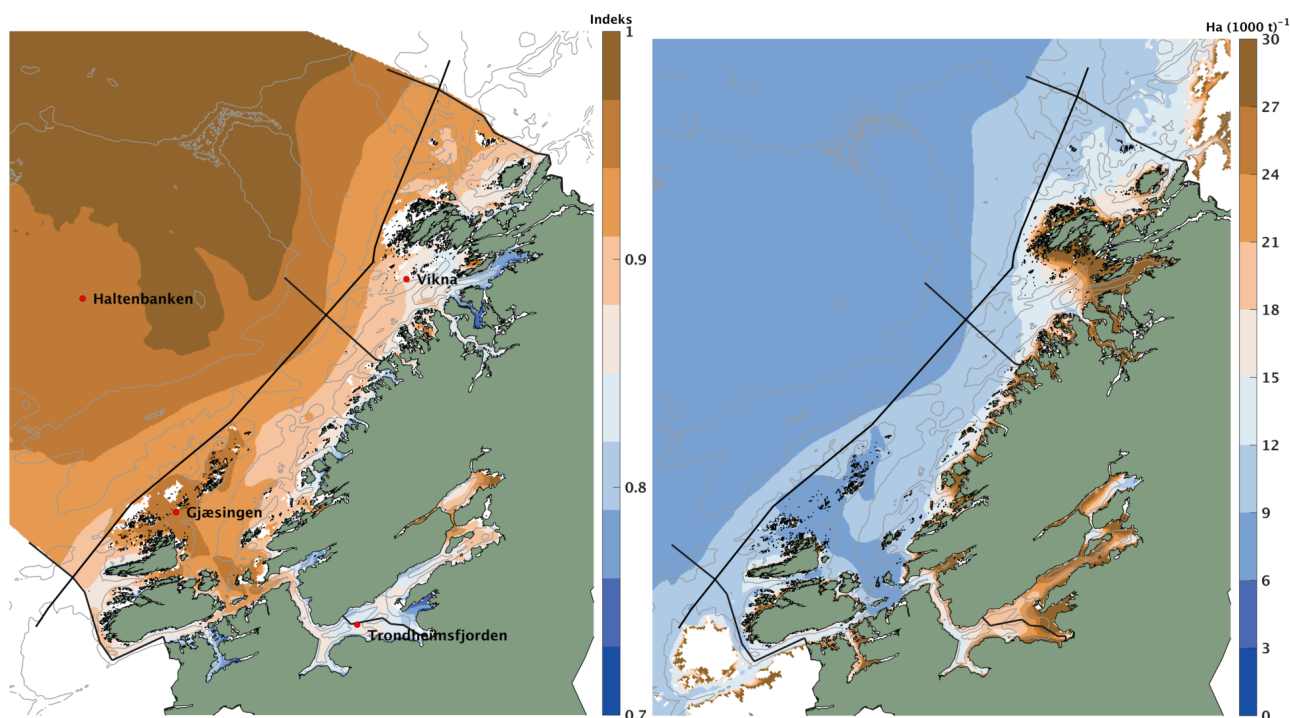
3.5 Areakonflikter og -behov

De arealkonfliktene vi har tatt stilling til her er hovedsakelig *fiskerisoner, farled* og *tarehøstingsområder* (naturlige bestander). Dette er drøftet gjennom eksempler i avsnitt . Vi har ikke tatt hensyn til for eksempel fyrsektorer.

Olje- og gassinstallasjoner er ikke i reell konflikt med mulige tare dyrkingsområder både fordi de stort sett ligger relativt langt til havs og fordi de strengt tatt ikke dekker et veldig stort areal, i hvert fall hvis man sammenligner med det totale tilgjengelige arealet. Konflikt skal ikke være nødvendig i overskuelig fremtid med mindre alle blokker og tillatelser lukkes fullstendig for tare dyrking. Spesielt innenfor grunnlinjen utgjør ikke olje- og gassinstallasjoner noen betydelig konflikt med potensielle tare dyrkingsfelt.

Vi har ikke sett på konflikter med annen havbruksaktivitet. Det kan oppstå konflikter mellom alge- og laksebruk, men det er like stor grunn til å se på sambruksmuligheter gjennom integrert havbruk, som lokalt kan bidra til betydelig økning i vekst hos makroalger [21]. Det er også såvidt lite totalareal avsatt til eksisterende akvakultur (hovedsakelig laks) at det bør være mulig å lokalisere makroalgeanlegg på en god måte.

Det offisielle sjøarealet innenfor grunnlinjen i (Sør- og Nord-) Trøndelag er på 12 258 km². Av dette utgjør farled, fiskerisoner og *mulige tarehøstingsområder* (i denne sammenheng definert som områder der bunn dypet



Figur 3.17: *Til venstre*: Indeks for innholdet av nitrogen i dyrket sukkertare i Trøndelag (2012-2015). *Til høyre*: Kart over hvor stort areal som kreves for å dyrke 1000 tonn sukkertare (våtvekt). Tallene er basert på de samme simuleringsresultatene som er brukt i figur 3.10.

er mindre enn 30 m) til sammen rundt 5000 km²¹. Det gjenstår rundt 7000 km² til alle andre formål. Sett i sammenheng med tallene i figur 3.11 er dyrkingspotensialet for makroalger innenfor grunnlinjen i Trøndelag enormt. Det kan tenkes at endel av det tilgjengelige arealet ikke vil være passende med dagens teknologi. For eksempel er det endel eksponerte og/eller dype områder. Med mer robust dyrkingsteknologi vil selvfølgelig arealene utenfor grunnlinjen kunne bli mer aktuelle. Logistikkhensyn kan føre til at et anlegg bør legges relativt nær land eller stedet der biomassen skal brukes eller videreforedles.

I avsnitt 3.5 så vi eksempler på hvor stor biomasse sukkertare man kan dyrke per arealenhet. Snur man problemstillingen på hodet, kan man spørre hvor stort areal som behøves for å dyrke en gitt biomasse. Figur 3.17 viser et kart over hvor stort areal som trengs for å dyrke 1000 tonn sukkertare. Det hefter naturligvis stor usikkerhet ved disse tallene. Likevel gir de en mulighet til for eksempel å vurdere arealbehov opp mot markesbehov eller biomassetillatelse.

Selv om et godt grunnlag for biomasseproduksjon er vesentlig av flere grunner (et godt grunnlag gir også utgangspunkt for store og robuste planter), må man også vurdere produksjonspotensial opp mot eventuelle transport- og prosesseringsbehov. Dersom transportbehovet er lite, kan et lavere biomassepotensial være akseptabelt. Dette er aspekter som vi ikke kan gå inn på i detalj her, men som bør utredes nærmere, for eksempel som et ledd i verdikjedeoptimering.

3.6 Andre estimater for dyrkingspotensial for makroalger

Det er foreløpig ingen som vet sikkert hvor mye det kan dyrkes av tare eller andre makroalger per enhet sjøareal i Norge. Noen estimater for dyrkingspotensialet for enkelte makroalger presenteres i tabell 3.2. Disse estimatene spriker en hel del, selv for samme art. Dette har flere årsaker. For det første er noen av estimatene regnet om til produksjonspotensial per hektar for at de skal kunne sammenlignes, og av de resterende estimatene er flere i

¹ Dette siste er et overslag basert på modellområdene i 160 m rutestørrelse og avviker fra faktiske og offisielle tall.

Tabell 3.2: Estimert dyrkingspotensial for noen makroalger. Alle tallene er oppgitt som tonn våtvekt per hektar, og er eventuelt regnet om til denne enheten fra de oppgitte referansene. Tallene under streken er fra figur 3.11.

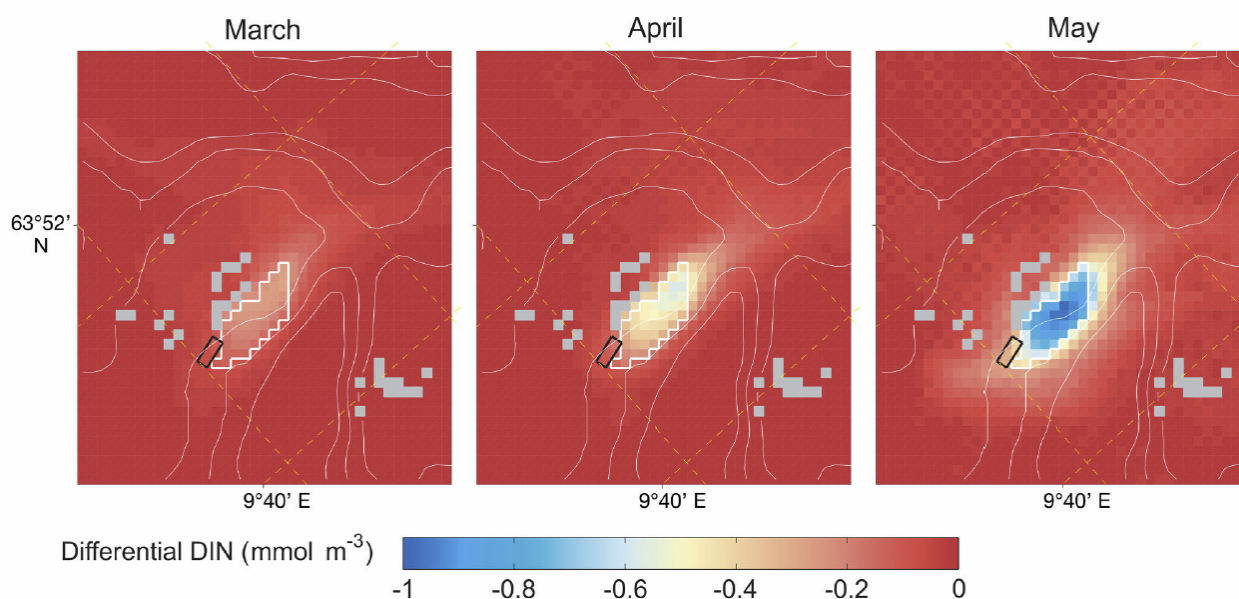
Art	Biomasse (t ha ⁻¹)	Referanser og kommentarer
<i>Saccharina japonica</i>	32	[56], gjennomsnitt for Sanggou-bukten i Kina. Omregnet fra tørrvekt biomasse med antatt tørrstoffinnhold på 15 % (vår antagelse)
<i>Saccharina japonica</i>	162	[57], total kinesisk produksjon fordelt på totalt kinesisk dyrkingsareal. Omregnet fra tørrvekt biomasse med antatt tørrstoffinnhold på 15 % (vår antagelse)
<i>Saccharina latissima</i>	220	[46], oppskalering basert på småskala forsøk
<i>Palmaria palmata</i>	180	[46], oppskalering basert på småskala forsøk
<i>Saccharina latissima</i>	22,5–27,6	[37], oppskalering fra dyrking på mindre areal
<i>Saccharina latissima</i> , tare	200	[30], oppskalering
<i>Laminaria hyperborea</i>	90–270	[1] sitert og omregnet i [41] til en årlig biomasseproduksjon på 9–27 kgm ⁻² . Fra Møre og Romsdal.
<i>Saccharina latissima</i>	95	[39], omregnet fra dyrket biomasse på 19,95 tonn per 0,21 hektar.
<i>Alaria esculenta</i>	63	[39], omregnet fra dyrket biomasse på 13,3 tonn per 0,21 hektar.
<i>Saccharina latissima</i>	32–220	[11], gjennomsnittsverdier basert på modellresultater for Møre og Romsdal. Direkte sammenlignbart med denne rapporten. Ulike områder og utsettidspunkt.
<i>Saccharina latissima</i>	45–91	Simulert, denne rapporten. Gjennomsnitt for områdene innenfor grunnlinjen i Trøndelag, 2012-2016.
<i>Saccharina latissima</i>	92–164	Simulert, denne rapporten. Gjennomsnitt for områdene utenfor grunnlinjen i Trøndelag og på kontinentalsokkelen (bunnyp mindre enn 500 m). Perioden 2012-2016.

utgangspunktet oppskalert fra småskalaforsøk. Derne stammer estimatene fra ulike regioner i forskjellige land der miljøbetingelsene er ulike. Videre har dyrkingsteknologien og -praksisen variert.

De mest interessante tallene for storskala dyrking kommer fra Kina. Der ble det i 2012 dyrket totalt 979 006 tonn tare (*Saccharina japonica*, tørrvekt) over totalt 40 201 hektar, eller rundt 400 km² [57]. Med et tørrstoffinnhold på 15% tilsvarer dett over 6,5 millioner tonn våtvekt på 400 km². Til sammenligning har Trondheimsfjorden et overflateareal på rundt 1400 km² [45]. Det må legges til at den kinesiske produksjonen ikke ble gjennomført over et så konsentrert område; sammenlign med tallene fra Sanggou-bukten i tabell 3.2.

3.7 Hvor stor del av dyrkingspotensialet er realiserbart?

Estimatene for produksjonspotensial i denne rapporten er *overslag*. Dette betyr ikke at tallene nødvendigvis er absolutte overestimer for hva som er mulig å dyrke per arealenhet, men at det er oppskaleringer fra ellers like forutsetninger. I store dyrkingsanlegg for makroalger vil algenes næringssaltopptak kunne bli så høyt at det reduserer næringssaltkonsentrasjonen lokalt, noe som i sin tur reduserer vekstgrunnlaget (figur 3.18). Dette betyr at en oppskalering av lokale dyrkeresultater ikke kan gjøres ved å multiplisere det lokale resultatet med en fast faktor. Det betyr også at man ikke kan forvente samtidig å kunne realisere det fulle potensialet i to nærliggende dyrkingsområder. Jo tettere og mer intense kulturene er, jo mer vil de redusere potensialet i de omkringliggende områdene.



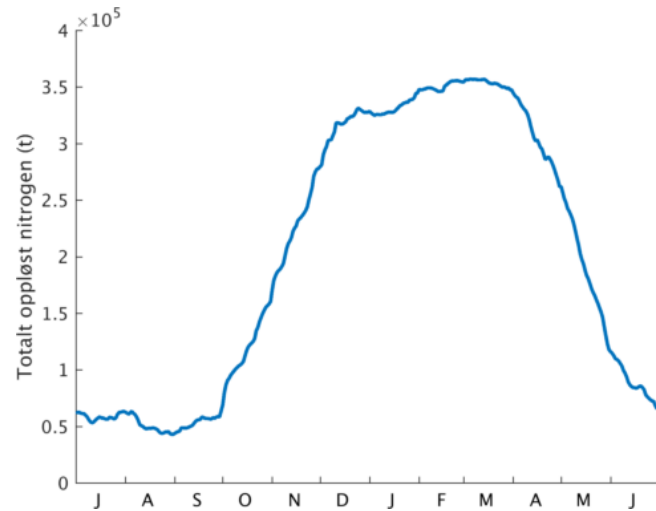
Figur 3.18: Differanse i simulert konsentrasjon av oppløst uorganisk nitrogen mellom et modellscenario med og et modellscenario uten tarekultur. Differansen er størst i områdene med blå farge. Tareanlegget var antatt å dekke 100 ha (= 1 km²) med samme plantetetthet som er brukt i biomasseestimatene i denne rapporten (delavsnitt A.1.3). Den hvite kurven antyder konturen av tare dyrkingsanlegget. Figuren er hentet fra [12].

Hvor mye er det mulig å dyrke? Hvis vi legger til grunn at veksten er begrenset av nitrogen tilgangen, hvilket stort sett vil være en rimelig antagelse fra sen våren og utover sommeren i våre farvann, vil mengden tilgjengelig nitrat avgjøre produksjonspotensialet. Figur 3.19 viser total mengde oppløst nitrogen tilgjengelig for planteplankton og makroalger i de øvre vannmassene innenfor grunnlinjen i Trøndelag gjennom året. Kurven stemmer grovt sett med den årlige syklusen for lystilgang og planktonproduksjon. Sammenlign med figurene 3.2 og 3.3. Minimumsverdien på ca. 50 000 tonn tilsvarer en tarebiomasse på 22 millioner tonn dersom man antar et nitrogeninnhold på 1,5 % i tørrstoffet og et tørrstoffinnhold på 15 %. Dette regnestykket er tatt med kun for å knytte tallene for nitrogen til biomasse. Det ville vært mer korrekt å sammenligne flukser, altså massetransport per tidsenhet, av nitrogen inn i og ut av området (og inn i og ut av planktonsamfunnet) med tilsvarende opptak og vekst hos makroalger.

3.8 Modellresultatenes begrensninger og deres gyldighet

Som med begrensede, enkeltstående empiriske undersøkelser må man være forsiktig med å trekke for omfattende konklusjoner fra modellsimuleringer. Det er derfor vi gjennomgående har skrevet at modellresultatene *antyder* eller *peker mot* fremfor at de viser. Så lenge romlige modeller, altså modeller som eksplisitt simulerer romlig fordelte variable, tar hensyn til relevante, grunnleggende prosesser og i rimelig grad er i stand til å reprodusere empiriske resultater der de finnes, kan de brukes til å utforske scenarier. Se for eksempel [22].

Det er publisert flere studier der resultater fra modellsystemet SINMOD er validert mot empiriske data og rådende kunnskap om viktige fysiske og biologiske variable i havet. Se for eksempel [51, 16] for isdynamikk og sirkulasjon i Barentshavet og [49, 5] for sirkulasjon på sokkelen i Nord-Norge. Nylig har SINMODs populasjonsmodell for raudåte blitt validert mot felldata [3]. Tarevekstmodellen er delvis validert mot data fra dyrkingsforsøk, og simulerer vekst og størrelse hos sukkertare bra [10, 24, 21]. Figur 3.20 viser en sammenligning av observert bladstørrelse hos sukkertare fra fem ulike dyrkingsforsøk med resultater fra modellen i 160 m oppløsning. Modellen beregner realistiske verdier og er i stand til å skille mellom dyrkingspotensialet ved ulike lokaliteter. Det må legges til at mens observasjonene her er fra forsøk over fire år, ble de sammenlignet



Figur 3.19: Totalt oppløst nitrogen tilgjengelig i de øvre vannmassene (fra 0 til 50 meters dyp) innenfor grunnlinjen i Trøndelag som funksjon av tiden. Figuren er basert på simuleringsresultatene fra modellen for Midt-Norge i 800 m oppløsning.

med en simulering kun for 2016. Dermed kan ikke denne sammenligningen sies å være en validering. Det er heller ikke gjort noen direkte sammenligning mellom biomasseestimer fra modellen og dyrkingsforsøkene. Dyrkingsforsøkene som ligger til grunn for figur 3.20 blir nærmere beskrevet i appendiks D.

Modellens romlige oppløsning, altså størrelsen på modellrutene (i vårt tilfelle 800 eller 160 m), har betydning for hvilke oseanografiske fenomener som kan reproduseres med en hydrodynamisk modell. Generelt kan man si at 800 m oppløsning er for grovt til å løse opp detaljene i hydrodynamikken i fjordene i Trøndelag. Hydrodynamikken har stor betydning for resultatene fra økosystemmodellen og tarevekstmodellen. Dermed har modellopløsningen betydning også for simuleringsresultatene for tare, og da spesielt for områdene i fjordene og i smale bukter og sund. Resultatene fra modellene i 160 m antyder litt bedre vekstforhold enn resultatene fra 800 m-modellen (sammenligning figur C.1 med figurene 3.12, 3.13, 3.14 og 3.15) som følge av at fysikken er bedre oppløst.

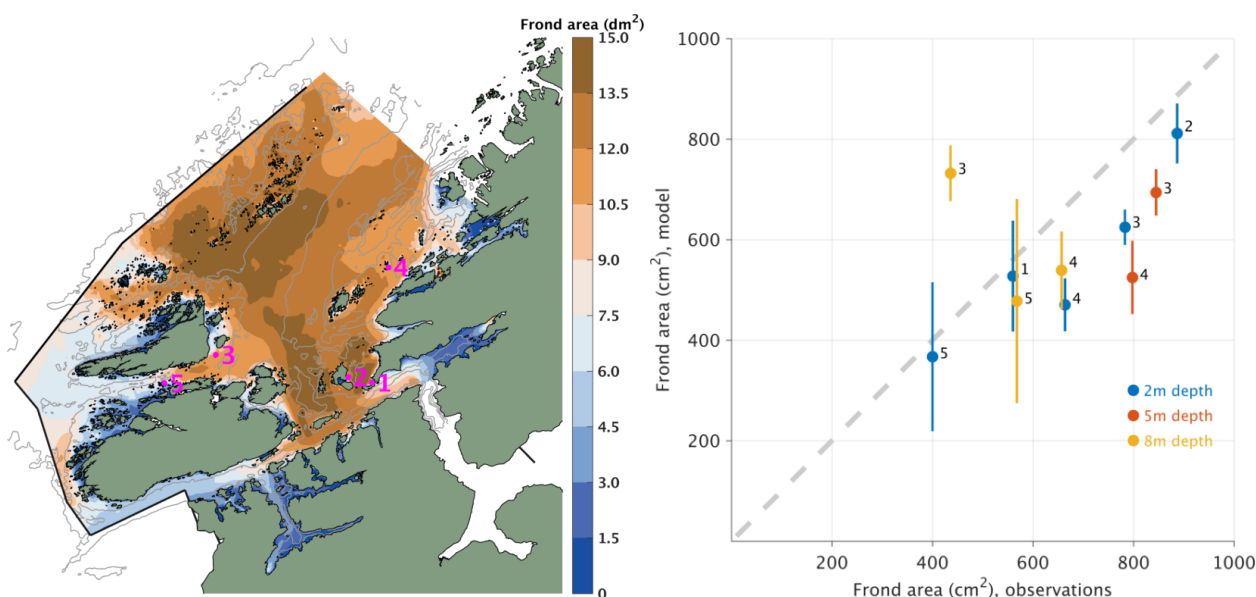
Vi har valgt hovedsakelig å bruke resultatene fra den grovere modellen fordi den ble kjørt for et lengre tidsrom og altså gir mer konservative estimer, dog også svakere skiller mellom ulike lokaliteter. Kvalitativt er resultatene fra 160 og 800 m-modellene nokså like.

Simuleringene ble gjort for fire fulle år: fra og med juli 2012 til og med juni 2016. Selv om dette er en relativt omfattende simulering for denne typen modeller, er det et begrenset utgangspunkt for å vurdere trender og mellomårlig variabilitet. Det ville krevd en lengre simulert periode (minst 10 år) for å vurdere mellomårlige variasjoner. Det er interessant å se på trender over lengre perioder blant annet for å avdekke potensielle effekter av klimaendringer på marin primærproduksjon og potensial for dyrking av makroalger.

4 Makroalgeindustrien i Trøndelag

Mennesket har høstet av naturlige makroalgebestander i tusener av år. I Norge har den industrielle beskatningen av naturlige bestander skutt fart etter 1950-tallet [26]. Industrien basert på dyrkede makroalger i Trøndelag og Norge er imidlertid ung, og det er foreløpig ikke mange aktører.

Produksjonen er relativt beskjeden, spesielt med tanke på det store potensialet beskrevet i kapittel 3 og tidligere rapporter [36, 11]. Noen sentrale tall for tareindustrien i Trøndelag og Norge, fra Fiskeridirektoratet, er gjengitt i tabellen under.



Figur 3.20: Sammenligning av simulert bladareal hos sukkertare med observasjoner fra dyrkingsforsøk i Trøndelag (*til høyre*). Fargene angir dyrkedyp, mens tallene henviser til posisjonene i det venstre panelet. Observert (faktisk) gjennomsnittlig bladareal ligger langs abscissen (x -aksen), mens det simulerte bladarealet følger ordinaten (y -aksen). De vertikale linjene antyder romlig variasjon i simulert bladareal. På den diagonale, stiplede linjen er simulert bladareal lik det observerte arealet.

Alger i tall - 2016	Trøndelag	Norge
Antall tillatelser	18	242
Antall tillatelser i drift	5	111
Antall bedrifter i drift	3	11
Antall sysselsatte	ingen info	41
Produksjon, sukkertare (t)	ingen info	31
Produksjon, butare (t)	ingen info	26
Verdi, sukkertare (kkr)	ingen info	100
Verdi, butare (kkr)	ingen info	817

Kilde: Fiskeridirektoratet, 29. august 2017

Videre i dette kapittelet beskriver vi resultater fra dybdeintervjuer med representanter (informanter) fra dagens tarenering i Trøndelag (avsnitt 4.1). Disse nye resultatene gir innblikk i trender og utfordringer innen næringen. I avsnitt 4.2 ser vi på muligheter og behov for forskning og utvikling innen makroalgeindustrien. Denne forskningen har dype og livskraftige røtter i Trøndelag.

4.1 Trender og utvikling innen norsk makroalgeindustri

Dette avsnittet inneholder narrativer og visualiseringer av en tekstanalyse av svarene til de ulike temaene i kodeskjemaene (tabell 2.1). Vi brukte www.wordle.net, en gratis online tjeneste for å lage disse ordskyene. Vi sammenstilte de mest omtalte temaene i intervjuene i kodeskjemaene og la disse inn i samme dokument, og fjernet “vanlige” ikke-tematiske ord (i, ja, og, for, med etc). Tjenesten genererer så en ordsky som sammenstiller ordene slik at ord som blir brukt oftere blir større og mindre brukte ord blir mindre. Ordskyer som disse gir både et skriftlig og et visuelt uttrykk av sammendraget av tekst, og kan brukes til utgangspunkt for en diskusjon om temaene som tas opp. Det er også en effektiv måte å kommunisere store trekk av resultat fra en kvalitativ analyse.

4.1.1 Historie, trender og utvikling

Intervjuobjektene, som til sammen representerer en stor anddel av alle bedrifter som driver innenfor makroalger i Trøndelag, hadde forskjellige historier om hva som førte til at de startet med tang- og tareproduksjon i forskjel-



Figur 4.3: Konflikter og utfordringer for tarenæringen i Trøndelag.

Men de presiserte viktigheten av at forvaltningen forsto forskjellen på om det dyrkes til småskala produksjon for høyverdi produkter, eller om det dyrkes eller høstes tare for storskala bioenergi for eksempel – dette er to helt forskjellige case med forskjellige økosystempåvirkninger.

For mat er det selve markedet som er utfordringen. “Vi må jo først og fremst få folk til å spise tare. Det er fremdeles nytt for mange i Europa, og folk må få bli kjent med tare som matprodukt. For at det skal skje må vi få det ut i butikkene og ut til folk”, mente en av informantene – i tråd med kommentaren om at folk var klare, men at produktet måtte profileres bedre. En tok opp utfordringen med at jod har seilet opp som en brems for utviklingen mot matprodukter, spesielt i forhold til Mattilsynet, men poengterer at “Det spises jo 20 millioner tonn tare i Asia hvert år, så livsfarlig kan det jo ikke være, selv om det ikke er optimalt med jod for noen menneskegrupper”.

“Vanskelig å konkurrere mot de som driver med villhøsting av tare - det krever enorme volumer å produsere like billig som villfangst av tare - da blir det for store oppdrettsareal som skal til og vi klarer ikke å konkurrere på det.”

En annen utfordring var at dette er gründervirksomhet, og kostbart, og for små bedrifter betyr dette at de må ha fulltidsjobb ved siden av tarevirksomheten for å få alt til å gå rundt. Flere nevnte at de har fått god hjelp og støtte fra Innovasjon Norge, mens andre mente det motsatte. Uansett ble det likevel dyrt i lengden, og nødvendig med investorer for å ha stor produksjon og kunne satse stort. Derfor var det flere som drev med håndhøsting av tare, og andre som drev med taretråling.

Dette med taretråling var blant annet en av temaene som fikk noe oppmerksomhet når det kom til konflikter i kystsonen rundt tare produksjon. Mørkekysten ble nevnt som et eksempel på et sted for kystfiskeflåten opplevde at taretrålingen hadde en negativ effekt på torsken, som mistet sin gjemteplass i tareskogen, og i tillegg er det oppvekstområder for ikke bare fisk men også skaldyr. Det ble også nevnt at “... i lakseoppdrettsnæringen så må de være påpasselig i forhold til beskyttelse av tareskogen, og av og til må man til og med overvåke tareskogen i nærheten slik at man ikke ødelegger den –

men samme tareskog kan plutselig bli høstet inn av taretrålere”. Andre mente, i samme tråd, at tareskoger burde beskyttes i fjordsystemene slik at det kunne bidra positivt inn mot laksenæringen og belastningen den har på økosystemet i slike systemer. Her mente de også at oppdrett av tare kunne være en viktig bidragsyter.

4.1.3 Fremtiden og muligheter

Selv om det var noen utfordringer identifisert av informantene, var samtalen generelt positive til næringen og utviklingen fremover. “Dette kommer til å bli en bredspektret industri i fremtiden i Norge. Vi starter med mat, men det kommer til å komme flere produkter. Det kommer til å bli et industrielt råstoff for andre produkter også, som dyrefôr, bioenergi, kjemikalier og medisiner”, mente en av informantene.

En annen mente at mulighetene var enorme og at om 5–10 år, så kom dette til å bli en stor industri i regionen, med et stort mangfold av produksjonsmetoder som kommer til å ha mye strengere regulering enn i dag. “Produktene vi selger er norske – de kommer fra det rene norske havet - og det er kvalitetsstempel nok å være norsk - du kan stole på det; det er ikke noe fusk – det er et godt råstoff”, avsluttet et intervju. Dette ble speilet i en annen kommentar som sa følgende om mulighetene fremover iforhold til norske konkurransefortrinn, når vi ikke kan konkurrere på pris og volum: “Miljø vil være mest viktig om vi spiller kortene våre rett. Det er i alle fall viktig for nord Europa og øvre middelklasse og oppover.”

“Vi må bare gå opp stiene og veiene til markedet og se om noen vil kjøpe miljøvennlig og bærekraftige produkter fra i Norge i fremtiden også.”

4.2 Muligheter ved og behov for forskning og utdanning i Trøndelag

Resultatene fra dybdeintervjuene i avsnitt 4.1 peker på både utfordringer og muligheter for makroalgenæringen. Dette illustreres også av to nyhetsoppslag fra det siste året som forteller om store muligheter og noen utfordringer: bruk av alginat i hjertemedisin og en bekymring for at tareindustrien skal ende som blåskjellnæringen på begynnelsen av 2000-tallet [27, 35]. For å håndtere utfordringene og gripe mulighetene er det behov for videre forskning, utdanning og utvikling. Man må ta for seg hele verdikjeden fra dyrking til ferdig produkt (figur 4.4).

Trondheim har lenge vært et sentrum for forskning på makroalger og utnyttelse av makroalger som ressurs. Det vitenskapelig arbeidet strekker seg fra Gunnerus (1766), via botanikerne Mikael H. Foslie (1885) og Henrik Printz (1926) til pionerarbeidet nedlagt av blant andre Arne Jensen og Arne Haug ved Norsk Institutt for Tang- og Tareforskning (NITT), NTH, på 1950-tallet [45, 26]. Arbeid med utnyttelse av tang og tare til ulike produkter har fortsatt, men forskningsområdet er utvidet i og med at det nå er stort fokus også på *dyrking* av makroalger, ikke bare høsting av viltvoksende alger. Dette skyldes den voldsomme teknologiutviklingen innen havbruk generelt og økt bevissthet rundt bærekraft, klima- og miljøfokus: hvor mye kan man høste av de naturlige ressursene uten at det går ut over bæreevnen? Som det fremgår av herværende rapport (avsnitt 3) og [11] er det mye som tyder på at det rent biologiske potensialet i storskala dyrking av makroalger er stort. Det er derfor fortsatt behov for forskning innen biologi og miljø på den ene siden og teknologi på den andre siden for å kunne realisere dette potensialet. Dette omfatter selvfølgelig også videreføring av de sterke tradisjonene innen bioteknologi fra NITT. Trøndelag står i en særstilling med tanke på de sterke tekniske og industrielle forskningsmiljøene i regionen.

En utredning fra 2014 [50] (se også [11]) oppsummerte følgende forskningstemaer som viktige for en ny marin industri basert på dyrking av makroalger:



Figur 4.4: Verdikjeden i produksjon og anvendelse av biomasse fra dyrkede makroalger.

- Protokoller for dyrking av et lite utvalg arter for norske forhold
- Dyrkingsteknologi for industriell produksjon i sjø
- Kartlegging av miljøinteraksjoner (positive og negative)
- Prosesseteknologi for helhetlig utnyttelse av råstoffet i bioraffineri
- Nye volum- og høyverdi produkter for kommersialisering.

Disse temaene er ikke mindre aktuelle nå i 2017.

God kunnskap om artenes biologi er selvsagt avgjørende for å lykkes med akvakultur. Miljøbetingelsene rundt et lakseoppdrettsanlegg har stor betydning for produksjonen, og dette er minst like viktig for algedyrking. Mens laksen føres, må man finne lokaliteter med tilstrekkelig naturlig tilgang på næringssalt for å dyrke alger. Lysforholdene har også betydning. Det er viktig å utvikle og formidle teknologi som gjør oss i stand til å få mest mulig ut av dyrkingsmiljøet.

Det er videre viktig med økologisk kunnskap og forståelse for å kunne forebygge eventuelle negative effekter av makroalgedyrking på det marine miljøet. Et pågående prosjekt, KELPPRO (www.kelppro.org), som ledes av NIVA og finansieres av Norges Forskningsråd, ser på interaksjoner mellom tarekulturer/anlegg og det omkringliggende miljøet. Det er ikke utelukkende et fokus på å identifisere eventuelle negative effekter av algedyrking, men også å belyse positive vekselvirkninger. For eksempel kan algekulturer fungere som skjul for småfisk og andre dyr. Et av målene til KELPPRO er å komme med anbefalinger til myndigheter som vil kunne bidra til en kunnskapsbasert forvaltning av makroalgeindustrien.

Når det gjelder dyrkingsteknologi for sjøfasen, er det behov for konstruksjoner og installasjoner som er tilpasset lokaliteten og arten som dyrkes, og som samtidig gjør utsett og innhøsting så effektiv som mulig. I lys av det store potensialet for biomasseproduksjon i eksponerte områder (se avsnitt 3.5), og faktisk også til havs, er det spesielt interessant å utvikle installasjoner for dette. Til dette hører også automatisert drift og overvåking av installasjoner til havs.

Etterhvert finnes det en god del kompetanse om algedyrking i Trøndelag. Både Guri Kunna og Val videregående skoler har fordypningsfag innen akvakultur, og Val VGS har en egen konsesjon for makroalger og et nettbasert kurs i algedyrking. Det utdannes kandidater på alle nivåer og innen alle relevante ledd i verdikjeden ved NTNU.

Forskning innen forvaltning og regelverk, arealbruk og -konflikter vil være vesentlig for å kunne utnytte den naturvitenskapelige og teknologiske forskningen på en effektiv måte innen kunnskapsbasert forvaltning.

I Trøndelag er det også et potensial for kunnskapsoverføring mellom ulike marine næringer. SINTEF-rapporten "Havteknologi" [25] gir et godt innblikk i potensialet for kunnskapsoverføring og teknologiutveksling på tvers av de marine næringene (marin, maritim og offshore).

Sammenholder man forskningsbehovene nevnt her med noen av utfordringene nevnt i delavsnitt 4.1, blant annet konkurranse på pris, ser vi at det er behov for og potensial i forskning rettet mot veriskjedeoptimering. Slik forskning vil kunne avdekke flaskehals og forbedringspotensial, eller kunne brukes til å vurdere dyrkingspotensial i sammenheng med logistikk og videreforedling.

5 Konklusjoner og anbefalinger

- De mest aktuelle makroalgeartene for dyrking i Trøndelag nå eller i nær fremtid er dem det finnes veldokumenterte dyrkingsprotokoller for:
 - sukkertare (*Saccharina latissima*, brunalge)
 - butare (*Alaria esculenta*, brunalge)
 - fingertare (*Laminaria digitata*, brunalge)
 - søl (*Palmaria palmata*, rødalge).
- Potensialet for dyrking av makrolagebiomasse ser ut til å øke med avstanden fra kysten. Dette skyldes en kombinasjon av bedre lys- og næringssalttilgang. Temperatur spiller også en rolle. Avhengig av dyrkingsperiode og mellomårlege variasjoner antyder modellresultatene at det er mulig å dyrke fra 45 til 90 tonn per hektar per sesong innenfor grunnlinjen og mellom 92 og 164 tonn per hektar per sesong utenfor grunnlinjen (på kontinentalsokkelen).
- De beste kystnære områdene (innenfor grunnlinjen) for makroalgedyrking i Trøndelag ser ut til å være rundt Froan (nord for Frøya), i Dolmsundet, sør i Frohavet og i området rundt Storfosna. Resultatene antyder at det kan dyrkes mellom 61 og 108 tonn per hektar per sesong her.
- I fjordområdene ser dyrkingspotensialet ut til å være lavere enn langs kysten. Spesielt i Trondheimsfjorden og Foldafjorden er det områder der dyrkingspotensialet later til å være lavere enn ute i kystsonen.
- Ser man på nitrogeninnholdet i biomassen (indikator for proteininnhold) er det gode områder langs hele kysten, og det er flere gode områder også i Trondheimsfjorden.
- Det er mange interesser å ta hensyn til i kystsonen i Trøndelag, for eksempel farled og fiskeri (også taretråling). Til tross for dette er det store arealer tilgjengelig til akvakultur. Når man tar bort farled, fiskeri og områder der det kan høstes fra naturlige tarebestander, er det fortsatt rundt 7000 km² tilgjengelig innenfor grunnlinjen.
- Makroalgenæringen i Trøndelag er i dag ikke stor, men basert på dybdeintervjuene later det til å være stor optimisme og gode fremtidsutsikter. Flere markeder og produktnisjer er aktuelle, spesielt høyverdi produkter.
- Trøndelag står på mange måter i en særstilling når det gjelder forskning og utdanning innen alle leddene i verdikjeden for biomasse basert på dyrkede makroalger. Forskningsmiljøene i Trondheim har svært lange tradisjoner innen tareforskning, og de er involvert i flere viktige forskningsprosjekter innen flere av leddene i verdikjeden.
- Betrachtingene rundt lokalisering av dyrkingsanlegg og -områder er eksempler på bruk av resultatene som danner grunnlaget for denne rapporten. Det er imidlertid mange interesser det ennå ikke er tatt hensyn til som for eksempel fyrsektorer og naturvernområder. For å kunne bruke resultatene og gjøre dem tilgjengelige for et større publikum bør de gjøres tilgjengelig via en form for interaktivt kartverktøy. Et slikt verktøy må også ha mulighet for å eksportere resultater og kartlag til Olex, GIS-verktøy og Fiskeridirektoratets kartverktøy. Slik vil resultatene kunne brukes i arealplanlegging, konsjonssøkning og -tildelling og i produksjonsplanlegging.

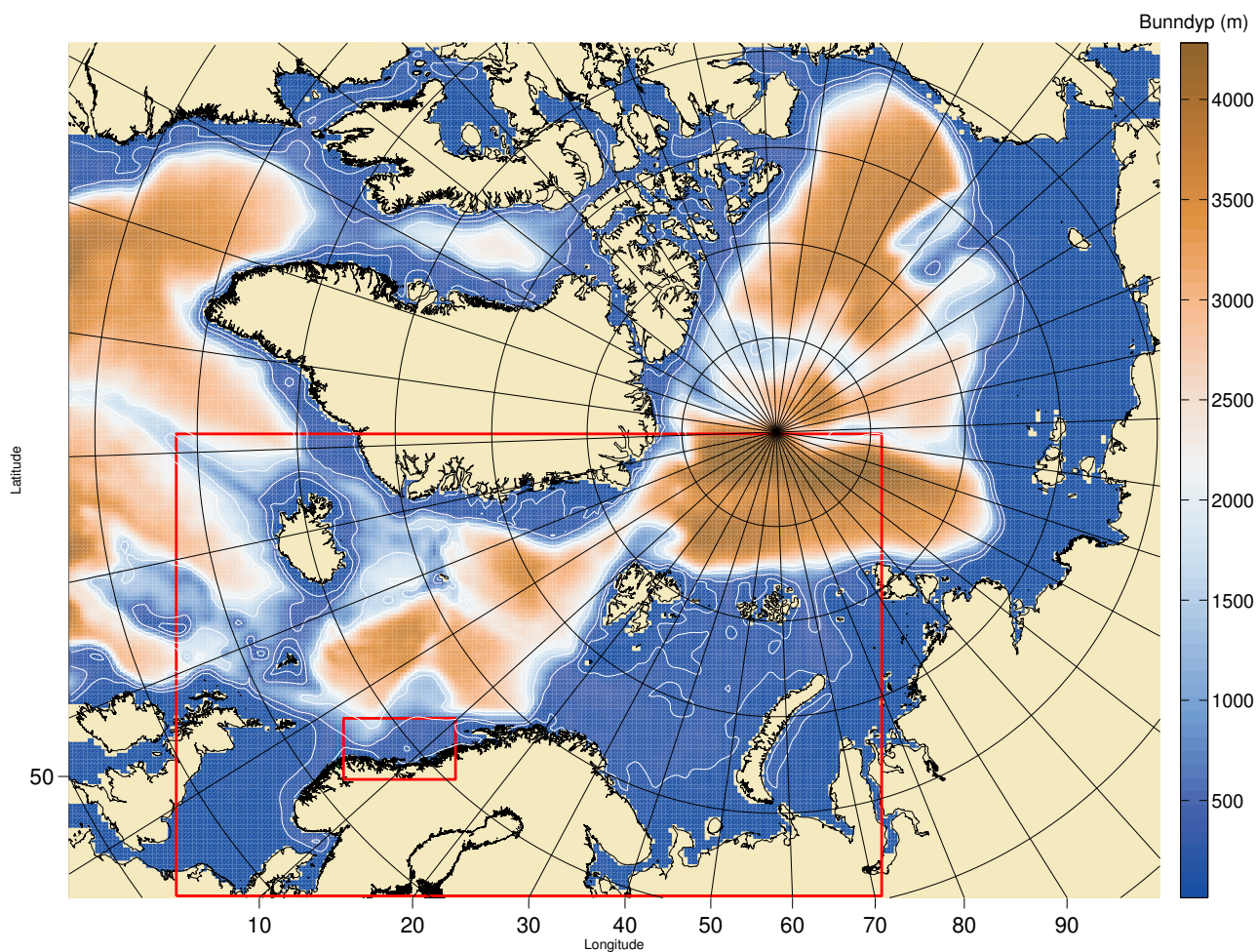
Referanser

- [1] M. I. Abdullah and S. Fredriksen. Production, respiration and exudation of dissolved organic matter by the kelp *Laminaria hyperborea* along the west coast of Norway. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 84:887–894, 2004.
- [2] K. A. Almås and I. Ratvik. Sjøkart mot 2050. Technical Report OC2017 A-092, SINTEF Ocean, 2017.
- [3] M. O. Alver, O. J. Broch, W. Melle, E. Bagøien, and D. Slagstad. Validation of an Eulerian population model for the marine copepod *Calanus finmarchicus* in the Norwegian Sea. *J. Mar. Sys.*, 160:81–93, 2016.
- [4] G. S. Andersen, H. Steen, H. Christie, S. Fredriksen, and F. E. Moy. Seasonal patterns of sphorphyte growth, fertility, fouling, and mortality of *Saccharina latissima* in skagerrak, Norway: Implications for forest recovery. *J. Mar. Biol.*, page 8pp, 2011.
- [5] Anon. LOFOTEN and VESTERÅLEN CURRENTS (LOVECUR). Comparison of hindcasts with measurements. Revision 2. Technical report, Forristall Ocean Engineering, Inc., 2011.
- [6] J. F. Arbona and M. Molla. *Cultivation of brown seaweed Alaria esculenta*. Irish Sea Fisheries board, Aquaculture explained 21 edition, 2006.
- [7] I. Bartsch, C. Wiencke, K. Bischof, C. M. Buchholz, B. H. Buck, A. Eggert, P. Feuerpfeil, D. Hanelt, S. Jacobsen, R. Karez, U. Karsten, M. Molis, M. Y. Roleda, H. Schubert, R. Schumann, K. Valentin, F. Weinberger, and J. Wiese. The genus *Laminaria sensu lato*: recent insights and developments. *Eur. J. Phycol.*, 43:1–86, 2008.
- [8] N. A. Blouin, J. A. Brodie, A. C. Grossman, P. Xu, and S. H. Brawley. *Porphyra*: a marine crop shaped by stress. *Trends in Plant Science*, 16:29–37, 2011.
- [9] J. J. Bolton and K. Lüning. Optimal Growth and Maximal Survival Temperatures of Atlantic *Laminaria* Species (Phaeophyta) in Culture. *Mar. Biol.*, 66:89–94, 1982.
- [10] O. J. Broch, I. H. Ellingsen, S. Forbord, X. Wang, Z. Volent, M. O. Alver, A. Handå, K. Andresen, D. Slagstad, K. I. Reitan, Y. Olsen, and J. Skjermo. Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp *Saccharina latissima* in close proximity to and exposed salmon farm in Norway. *Aquacult. Environ. Interact.*, 4:187–206, 2013.
- [11] O. J. Broch, J. Skjermo, and H. Handå. Potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal. Technical Report A27869, SINTEF, 2016.
- [12] O. J. Broch and D. Slagstad. Modelling seasonal growth and composition of the kelp *Saccharina latissima*. *J. Appl. Phycol.*, 24:759–776, 2012.
- [13] D. P. Dee, S. M. Uppala, A. J. Simmons, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137:553–597, 2011.
- [14] C. M. Duarte, J. Wu, X. Xiao, A. Bruhn, and D. Krause-Jensen. Can Seaweed Farming Play a Role in Climate Change Mitigation and Adaptation? *Front. Mar. Sci.*, 4(100), 2017. doi:10.3389/fmars.2017.00100.
- [15] M. Edwards and L. Watson. *Cultivating Laminaria digitata*. Irish Sea Fisheries Board, Aquaculture explained 26 edition, 2011.
- [16] I. Ellingsen, D. Slagstad, and A. Sundfjord. Modification of water masses in the Barents Sea and its coupling to ice dynamics: a model study. *Ocean Dyn.*, 59:1095–1108, 2009.
- [17] I. H. Ellingsen. *Internal tides and the spread of river plumes in the Trondheim Fjord*. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology, 2004.

- [18] FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200pp, 2016.
- [19] S. Forbord, J. Skjermo, J. Arff, A. Handå, K. I. Reitan, R. Bjerregaard, and K. Lüning. Development of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) kelp hatcheries with year-round production of zoospores and juvenile sporophytes on culture ropes for kelp aquaculture. *J. Appl. Phycol*, 24:393–399, 2012.
- [20] H. Førde, S. Forbord, A. Handå, J. Fossberg, J. Arff, G. Johnsen, and K. I. Reitan. Development of bryozoan fouling on cultivated kelp (*Saccharina latissima* in Norway). *J. Appl. Phycol.*, 28:1225–1234, 2016.
- [21] J. Fossberg, A. Handå, S. Forbord, O. J. Broch, H. Førde, M. Bergvik, A. L. Fleddum, J. Skjermo, and Y. Olsen. The potential for upscaling of kelp (*Saccharina latissima*) cultivation in salmon-driven integrated multi-trophic aquaculture (imta). Submitted.
- [22] M. H. Graham, B. P. Kinlan, L.D. Druehl, L. E. Garske, and S. Banks. Deep-water kelp refugia as potential hotspots of tropical marine diversity and productivity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104:16576–16580, 2007.
- [23] H. Gundersen, H. C. Christie, H. de Wit, K.M. Norderhaug, T. Bekkby, and M. G. Walday. Utredning of CO₂-opptak i marine naturtyper. Technical Report 6070-2010, NIVA, 2011.
- [24] A. Handå, S. Forbord, X. Wang, O. J. Broch, S. W. Dahle, T. S. Størseth, K. I. Reitan, Y. Olsen, and J. Skjermo. Seasonal- and depth-dependent growth of cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in close proximity to salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. *Aquaculture*, 414-415:191–201, 2013.
- [25] E. A. Holte, S. A. Sønvisen, and I. M. Holmen. Havteknologi. Potensialet for utvikling av tverrgående teknologier og teknologisk utstyr til bruk i marin, maritim og offshore sektorer. Technical Report MT2015 F-182, SINTEF MARINTEK, 2016.
- [26] M. Indergaard. Tang og tare - i hovedsak norske brunalger: Forekomster, forskning og anvendelse. 2010.
- [27] G. Jørgensen and B. Grimen. Tang og tare fra Karmøy blir til hjertemedisin. nrk.no, 2016. 7. september 2016, <https://www.nrk.no/rogaland/tang-og-tare-fra-karmoy-blir-til-hjertemedisin-1.13124644>.
- [28] P. D. Kerrison, M. S. Stanley, M. D. Edwards, K. D. Black, and A. D. Hughes. The cultivation of European kelp for bioenergy: site and species selection. *Biomass and bioenergy*, 80:229–242, 2015.
- [29] A. Q. Lavik. Developing a laboratory cultivation protocol for local species of porphyra spp. Master's thesis, NTNU, May 2016.
- [30] S. Matsson, S. Mogård, R. Fieler, H. Christie, and L. Neves. Pilotstudie på dyrking av tare i Troms. Technical report, Akvaplan-niva, 2015.
- [31] L. Mortensen. Diurnal carbon dioxide exchange rates of *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata*. *J. Appl. Phycol*, 2017.
- [32] L. Mortensen. Remediation of nutrient-rich, brackish fjord water through production of protein-rich kelp *S. latissima* and *L. digitata*. *J. Appl. Phycol*, 2017.
- [33] I. M. Munda and K. Lüning. Growth performance of *Alaria esculenta* off Helgoland. *Helgoländer wiss. Meeresunters*, 29:311–314, 1977.
- [34] M. M. Nielsen, A. Bruhn, M. B. Rasmussen, B. Olesen, M. M. Larsen, and H. B. Møller. Cultivation of *Ulva lactuca* with manure for simultaneous bioremediation and biomass production. *J. Appl. Phycol.*, 24:449–458, 2012.
- [35] J. Ødegård and O. Viken. Tare-boom langs kysten - men ingen krav til opprydding. nrk.no, 2017. 16. august 2017, <https://www.nrk.no/nordland/xl/tare-boom-langs-kysten-1.13577085>.

- [36] T. Olafsen, U. Winther, and J. Skjermo. Verdiskapning basert på produktive hav i 2050. Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab (DKNVS) og Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA), 2012.
- [37] J. S. Pechsiri, J.-B. E. Thomas, E. Risen, M. S. Ribeiro, M. E. Malmstrøm, G. M. Nylund, A. Jansson, U. Welander, H. Pavia, and F. Grøndahl. Energy performance and greenhouse gas emissions of kelp cultivation for biogas and fertilizer recovery in sweden. *Sci. Tot. Env.*, 573:347–355, 2016.
- [38] C. Peteiro and O. Freire. Biomass yield and morphological features of the seaweed *Saccharina latissima* cultivated at two different sites in a coastal bay in the Atlantic coast of Spain. *J. Appl. Phycol*, 25:205–213, 2013.
- [39] G. K. Reid, T. Chopin, S. M. C. Robinson, P. Azevedo, M. Quinton, and E. Belyea. Weight ratios of the kelps, *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima*, required to sequester dissolved inorganic nutrients and supply oxygen for Atlantic salmon, *Salmo salar*, in Integrated Multi-Trophic Aquaculture systems. *Aquaculture*, 408-409:34–46, 2013.
- [40] J. S. Ren, J. Stenton-Dozey, D. R. Plew, J. Fang, and M. Gall. An ecosystem model for optimizing production in integrated multitrophic aquaculture systems. *Ecological Modelling*, 246:34–46, 2012.
- [41] E. Rinde, H. Christie, T. Bekkbye, and V. Bakkestuen. Økologiske effekter av taretråling. analyser basert på gis-modellering og empiriske data. Technical Report LNR 5150-2006, NIVA, 2006.
- [42] J. Rueness. *Alger i farger*. Almater Forlag, 1998.
- [43] R. Sætre, editor. *The Norwegian Coastal Current*. Tapir academic press, 2007.
- [44] E. Sakshaug, G. Johnsen, and K. Kovacs, editors. *Ecosystem Barents Sea*. Tapir academic press, 2009.
- [45] E. Sakshaug and J. A. Sneli, editors. *Trondheimsfjorden*. Tapir forlag, 2000.
- [46] J. C. Sanderson, M. J. Dring, K. Davidson, and M. S. Kelly. Culture, yield and bioremediation potential of *Palmaria palmata* (Linnaeus) Weber and Mohr and *Saccharina latissima* (Linnaeus) C. E. Lane, C. Mayes, Druehl and G. W. Saudners adjacent to fish farm cages in northwest scotland. *Aquaculture*, 354-355:128–135, 2012.
- [47] M. I. Saunders, A. Metaxas, and R. Filgueira. Implications of warming temperatures for population outbreaks of a nonindigenous species (*Membranipora membranacea*, bryozoa) in rocky subtidal ecosystems. *Limnol. Oceanogr.*, 55:1627–1642, 2010.
- [48] R. E. Scheibling and P. Gagnon. Temperature-mediated outbreak dynamics of the invasive bryozoan *Membranipora membranacea* in Nova Scotian kelp beds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 390:1–13, 2009.
- [49] J. Skarðhamar and H. Svendsen. Circulation and shelf-ocean interactions off North Norway. *Cont. Shelf. Res.*, 25:1541–1560, 2005.
- [50] J. Skjermo, I. M. Aasen, J. Arff, O. J. Broch, A. Carvajal, H. Christie, S. Forbord, Y. Olsen, K. I. Reitan, T. Rustad, J. Sandquist, R. Solbakken, K. B. Steinhovden, B. Wittgens, R. Wolff, and A. Handa. A new Norwegian bioeconomy based on cultivation and processing of seaweeds: Opportunities and R&D needs. Technical Report A25981, SINTEF, 2014.
- [51] D. Slagstad and T. A. McClimans. Modelling the ecosystem dynamics of the Barents sea including the marginal ice zone: I. physical and chemical oceanography. *J. Mar. Sys.*, 58:1–18, 2005.
- [52] H. Steen. Stortare. In *Havforskningsrapporten*, page 195. Havforskningsinstituttet, 2015.
- [53] J. Vea and E. Ask. Creating a sustainable commercial harvest of *Laminaria hyperborea*, in norway. *J. Appl. Phycol.*, 23:489–494, 2011.

- [54] P. Wassmann, D. Slagstad, C. W. Riser, and M. Reigstad. Modelling the ecosystem dynamics of the Barents Sea including the marginal ice zone II. Carbon flux and interannual variability. *J. Mar. Sys.*, 59:1–24, 2006.
- [55] A. Werner and M. Dring. *Cultivating Palmaria palmata*. Irish Sea Fisheries Board, Aquaculture explained 27 edition, 2011.
- [56] J. Zhang, W. Wu, J. S. Ren, and F. Lin. A model for the growth of mariculture kelp *Saccharina japonica* in Sanggou Bay, China. *Aquacult. Environ. Interact.*, 8:273–283, 2016.
- [57] N. Zhang, L. Zhang, Y. Tao, L. Guo, J. Sun, X. Li, N. Zhao, J. Peng, L. Zeng X. Li, J. Chen, and G. Yang. Construction of a high density snp linkage map of kelp (*Saccharina japonica*) by sequencing *Taq* I site associated DNA and mapping of a sex determining locus. *BMC Genomics*, 16(189), 2015.



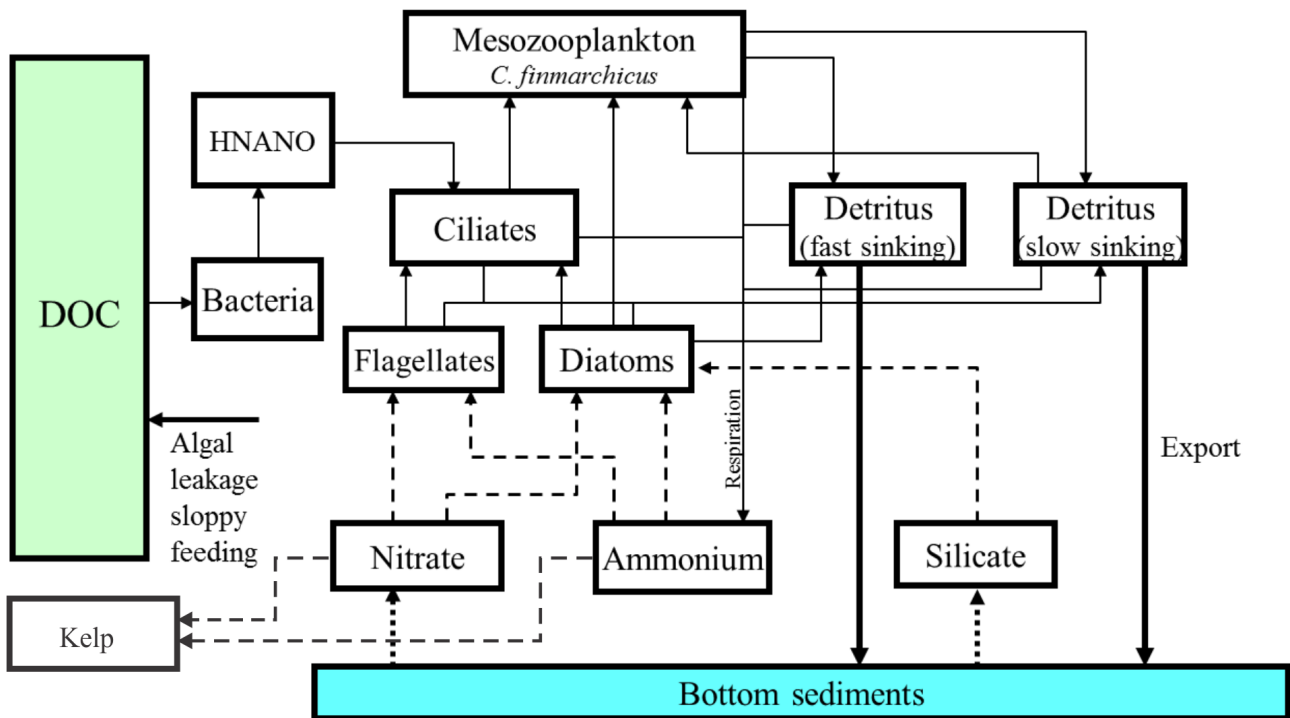
Figur A.1: Modellområdet i 20 km horisontal oppløsning som genererer grensebetingelser til 4km-modellen (det store røde rektangelet), som igjen genererer grensebetingelser til 800 m-modellen (det lille røde rektangelet). Fargene viser bunndyp.

A Koblet hydrodynamikk-økologi-tare-modell (SINMOD)

Her tar vi med noen flere detaljer rundt bruk og tolkning av resultatene fra SINMOD til å vurdere vekst- og dyrkingspotensialet for makroalger. Mange av detaljene finnes også i [11].

A.1 Beregning av produksjonspotensial og vurdering av velegnede områder for makroalgedyrking

Vurderingen av gode områder og potensialet for storskala makroalgedyrking ble basert på resultater fra simuleringer med SINMOD. Estimaten for biomasseproduksjon ble basert utelukkende på resultatene fra vekstmodellen for sukkertare (A.1.3 nedenfor). Grunnen til dette er at man kan sammenligne dyrkingsbetingelsene ved å sammenligne simulerte (eller målte) miljøvariable ved ulike lokaliteter direkte, men for å estimere biomasse må man eksplisitt omregne disse betingelsene til biomasse, og da trengs det en form for vekstmodell eller veldig gode dyrkingsdata. Det finnes ennå ikke gode vekstmodeller for andre (norske) arter enn sukkertare. Modeller for flere arter blir imidlertid utviklet nå.



Figur A.2: Oversikt over økosystemkomponenten i SINMOD og de viktigste koblingene mellom variablene. Modifisert etter [54].

A.1.1 Indeks for grunnleggende potensial for dyrking av sukkertare

Formelt kan man uttrykke indeksen for dyrkingspotensial for sukkertare som følger. La $B_i(x, y, z, t)$ betegne den simulerte tørrvekten av bladareal i modellruten med romlige koordinater (x, y, z) , der i løper fra 1 til 35 og betegner utsettene fra og med 1. juli 2012 til og med 1. mai 2015. Vi lar t_i være tidspunktet for utsett i ; f.eks. tilsvarer t_2 1. august 2012. For $t < t_i$ settes $B_i(x, y, z, t) = 0$. La

$$\tilde{I}(x, y) = \sum_{i=1}^{35} \int_{t=t_i}^{t=\text{neste juni}} \int_{z=1}^{25} B_i(x, y, z, t) dz dt. \quad (1)$$

Da beregnes den romlige indeksen $I(x, y)$ som

$$I(x, y) = \frac{\tilde{I}(x, y)}{\max_{x,y} \tilde{I}(x, y)}. \quad (2)$$

Dermed har vi $0 \leq I \leq 1$. Se figur 3.5.

Tørrvekten ble brukt da det er denne som sier noe om den egentlige biomasseproduksjonen. Våtvekt, altså biomassen inkludert vannet, er veldefinert, men vanskelig å anslå presist ved måling siden den våte biomassen også nødvendigvis må inneholde vann på overfalten av plantene samt begroingsorganismer som kan utgjøre en betydelig del av biomassen [30]. Fra et ressursutnyttelsesperspektiv er det selvfølgelig ingenting i veien for å utnytte biomassen til begroingsorganismer.

Merk at denne indeksen ikke sier noe om egentlig biomasseutbytte eller hvordan produksjonspotensialet blir påvirket av ulike dyrkingsstrategier. Det er utelukkende det grunnleggende - naturgitt om man vil - potensialet som blir sammenlignet.

Det hefter fortsatt endel usikkerhet ved biomasseestimer, spesielt med tanke på gode øvre estimer for produksjonspotensialet ved en lokalitet. Det er mange faktorer som vi vet spiller inn, men som ennå ikke er kvantifisert tilstrekkelige gjennom dyrkingsforsøk. Se avsnitt 3.2.

A.1.2 Grov indeks over dyrkingspotensialet for *Palmaria palmata*

I posisjonen (x, y) kan man beregne vektorer for dag nummer t basert på temperatur (T), saltholdighet (S) og næringssaltkonsentrasjon (DIN, summen av ammonium- og nitratkonsentrasjonen) som følger:

$$f_{\text{temp}}(x, y, t) = \begin{cases} T(x, y, t)/6, & T(x, y, t) < 6 \\ 1, & 6 \leq T(x, y, t) \leq 14 \\ 0,1, & 14 < T(x, y, t), \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{\text{salinity}}(x, y, t) = \begin{cases} 1, & 25 \leq S(x, y, t) \\ 1 + (S(x, y, t) - 25)/18, & 16 \leq S(x, y, t) < 25 \\ S(x, y, t)/32, & 0 \leq S(x, y, t) < 16 \end{cases} \quad (4)$$

og

$$f_{\text{DIN}}(x, y, t) = \frac{DIN(x, y, t)}{K + DIN(x, y, t)}. \quad (5)$$

K betegner *halvmetningskonstanten* for vekst som funksjon av ytre næringssaltkonsentrasjon. Vi ser helt bort fra mer komplisert fysiologi her. Verdiene for disse variablene hentes fra havmodellen. Indeksen beregnes i hver posisjon (x, y) som

$$\tilde{I}(x, y) = \int_0^{180} f_{\text{temp}}(x, y, t) f_{\text{salinity}}(x, y, t) f_{\text{DIN}}(x, y, t) dt, \quad (6)$$

der det altså integreres over årets første halvår, og endelig

$$I(x, y) = \frac{\tilde{I}(x, y)}{\max_{x,y} \tilde{I}(x, y)}. \quad (7)$$

A.1.3 Biomasseestimer

Med utgangspunkt i simuleringene med modellene i 800 og 160 m oppløsning ble potensialet for dyrking av sukkertare beregnet som biomasse per arealenheter (t ha^{-1}). Det ble antatt at dyrkingen foregikk i taukulturer. Se avsnitt 3.2. Resultatene for enkeltplanter ble oppskalert til biomasse per hektar ved å multiplisere tørrvekten til en enkelt plante i en modellrute med antall planter per hektar i den ruten. Antall planter per hektar ble beregnet ut fra følgende antagelser.

- Plantene ble dyrket fra 1 til 6 m dyp på vertikalt hengende tau.
- Tettheten av vertikale tau var $\rho = 0,2 \text{ tau m}^{-2}$.
- Det ble antatt at antall planter per meter taulengde N var gitt ved

$$N(m) = 261(1 - 0,1294)^m, \quad (8)$$

der m betegner antall måneder i kultur.

Antallet planter ble altså antatt å minke med tiden. Her ble kun de plantene som bidro vesentlig til biomassen tatt med. Antallet planter per meter taulengde i kultur varierer mye, og det er mange faktorer som sammen avgjør det presise tallet. Blant miljømessige betingelser kan nevnes strøm, temperatur, begroing, bølger og uvær. Blant faktorerene som er knyttet til selve produksjonsteknikken, vil ikke minst tilstanden til kimplantene som settes ut

ha betydning. Videre vil tettheten av planter ved påsåing i laboratoriefasen avhenger av typen tau/substrat som brukes. Det vil videre være en betydelige variasjon i plantenes størrelse og forutsetning for å vokse [24]. Det er ikke gitt at en høy tetthet av kimplanter alltid vil gi et bedre resultat.

Dersom $B_{\text{ind}}(x, y, k)$ betegner den simulerte biomassen (tørr eller våtvekt) til en enkeltplante i posisjon (x, y) og dybdelag nummer k kan vi beregne biomassen per arealenheter i en posisjon (x, y) som

$$B(x, y) = \sum_k B_{\text{ind}}(x, y, k) N \rho \Delta z_k / 100, \quad (9)$$

der divisjonen med 100 inngår fordi vi omregner fra totalt antall gram per meter til t ha^{-1} . B uttrykker altså biomasseutbyttet per arealenheter. Tilsvarende kan man beregne opptak av karbon, nitrogen og CO_2 per arealenheter.

Denne måten å oppskalere på ble benyttet i [10], og spesielt tilsvarende antall planter per meter tau verdiene som ble benyttet der (henholdsvis 75 og 150 planter per meter tau ved dyrking fra september og februar til juni). Verdien vi benytter må betraktes som en gjennomsnittsverdi [10]. Tallet 0,1294 må sees på som en månedlig mortalitetsrate. Den eksakte verdien er tilpasset antagelsen om henholdsvis 75 og 150 planter per meter tau ved høsting i juni og utsett i september og februar. Det er her antatt en betydelig høyere mortalitetsrate enn det som er benyttet i andre modellstudier, for eksempel [40]. I tillegg kommer biomassetap i form av nedbrytning av bladet fra enkeltplanter.

Med tanke på at store kulturer kan redusere næringssaltkonsentrasjonen betydelig [10], må biomasserestimatene sees på som et øvre estimat. Det ville vært praktisk svært krevende å beregne et mer realistisk estimat med toveis tilbakekobling mellom tarekulturen og økosystemmodellen (taren tar opp næringssalt, noe som fører til lavere næringssaltkonsentrasjon og dermed lavere vekstpotensial), siden det ville kreve svært mange uavhengige simuleringer med hele det koblede modellsystemet: ved storskala dyrking i alle eller en stor andel av modellrutene ville næringssaltet bli oppbrukt. Det er heller ikke tatt hensyn til lysskygging ved tette kulturer i estimatene her. En enkel vurdering av effekten av skygging og opptak av næringssalter blir gjort i [10].

B Intervjuguide for dybdeintervjuene med representanter for tareneringen

Intervjuguide – Potensiale for dyrking av makroalger i Trøndelag

Intervjuet er ledd i datainnsamlingen for et prosjekt finansiert av Sør Trøndelag Fylkeskommune om potensiale for dyrking av makroalger i Trøndelag. Intervjuet handler om å få kartlagt det direkte og indirekte potensialet av storskala tareproduksjon i Trøndelag. I tillegg ønskes en synliggjøring av tareaktørene og industriens omfang i Trøndelag, herunder hvor stort potensiale industrien ser for seg i fremtidig produksjon og marked.

Tema for intervjuet er å danne et bilde av alderen på næringen, trendene i utviklingen av denne næringen i Trøndelag, og hva som preger denne utviklingen. Det vil si at i intervjuet vil vi komme inn på i hvilken grad man oppfatter denne utviklingen i den eksisterende næringen, og eventuelt hvilken styrke du oppfatter at tareproduksjon i Trøndelag har i forhold til både nasjonale og internasjonale konkurrenter. Vi ønsker gjerne eksempler/konkretiseringer.

Intervjuet vil vare i ca tjue minutter. Dersom intervjuet er personlig og ikke per telefon vil det etter samtykke bli tatt opp digitalt med en iPhone. Opptak vil oppbevares på en sikker måte, og slettes etter at prosjektet er gjennomført.

I tråd med god forskningsetikk er deltagelse i intervjuene frivillig, og resultater vil i etterkant presenteres anonymisert. For ytterligere informasjon, kontakt prosjektleder Ole Jacob Broch på Ole.Jacob.Broch@sintef.no eller tlf. 91 35 37 63.

Intervju nr:	
Dato:	
Sted:	
Intervjuer:	Rachel Tiller, SINTEF Ocean
Del av tareindustri:	<input type="checkbox"/> Dyrking <input type="checkbox"/> Foredling /Prosessering <input type="checkbox"/> Marked <input type="checkbox"/> Annet

1. Introduksjon

Kort om deg selv og dine arbeidsoppgaver

Hva er ansvarsområdet ditt?

Hvordan har du skaffet deg erfaring/kunnskap om næringen? Tidligere jobb?

Hvor kommer du fra? Har du personlig kunnskap til tareindustrien?

Hvor lenge de har jobbet med tare/alder på bedrift(-ens beskaftenhet med alger), - synliggjøring av alderen på næringa

Figur B.1: Intervjuguide, side 1 av 3.

2. *Hvilken segment av tareindustrien vil du si at din bedrift i hovedsak identifiserer seg med? (leverandør av teknologi? Service? Dyrking? Marked? Annet?)*

Teknologi	Service	Dyrking	Marked	Mat/Drikke	Annet
-----------	---------	---------	--------	------------	-------

Kan du fortelle litt om hva som karakteriserer det segmentet ditt selskap sorterer under?

Eksempler:

- Små/store selskap?
- Er det stor konkurranse?
- Hvem er de viktigste konkurrentene?
- Hva er de viktigste likhetene mellom selskapene?
- Hva er de viktigste ulikhetene mellom selskapene?

3. *Klynger?*

Er selskapet deres medlem av en sammenslutning eller klynge?

Hva betyr samarbeidet med andre selskaper innenfor samme segment for dere?

Er det noen i klyngen/nettverket (f.eks) en leder som vi burde snakket med?

4. *Trender i utviklingen av tareindustrien*

Hvordan opplever du at tareindustrien generelt har utviklet seg siden starten?

- Eksempel: større enheter, nye produkter, miljøfokus, oppkjøp), automasjon/robotisering, globalisering, markedstilpasning, kvalitetskrav, dyr arbeidskraft i Norge

5. *Geografisk tilknytning*

I hvilken grad er dere geografisk tilknyttet et bestemt sted i Norge?

Hvordan opplever du at en geografisk tilknytning til et bestemt sted er viktig for utviklingen av din bedrift?

Figur B.2: Intervjuguide, side 2 av 3.

6. Hvilke ringvirkninger vil du si at tarenæringen leverer til lokalsamfunnet?

I din mening, har din bedrift ytterligere ringvirkninger på andre næringer i lokalsamfunnet? I Trøndelag generelt?

Har din bedrift mange ansatte?

Utenlandsk arbeidskraft?

Opplever du at suksess i ditt firma fører til økt sysselsetning hos dine egne leverandører?

7. Er det noen spesielle utfordringer eller problemer dere ser knyttet til dette?

Praktisk? Økonomisk? Lovmessig/forvaltningsmessig? Marked?

Kan du gi eksempler på dette?

8. Hvilken styrke har den trønderske/midt-norske tareindustrien sammenlignet med konkurrenter i andre deler av Norge? Utlandet?

Opplever du økt konkurranse fra utenlandske aktører? Hvorfor/hvorfor ikke tror du?

Hva er det komparative fortrinnet dere (norske/trønderske aktører) har?

Hvilke komparative fortrinn har utenlandske leverandører?

Eksporterer dere til utlandet? I hvilken grad har dette forandret seg de siste årene?

Hvor stor del av deres inntekt kommer fra eksport?

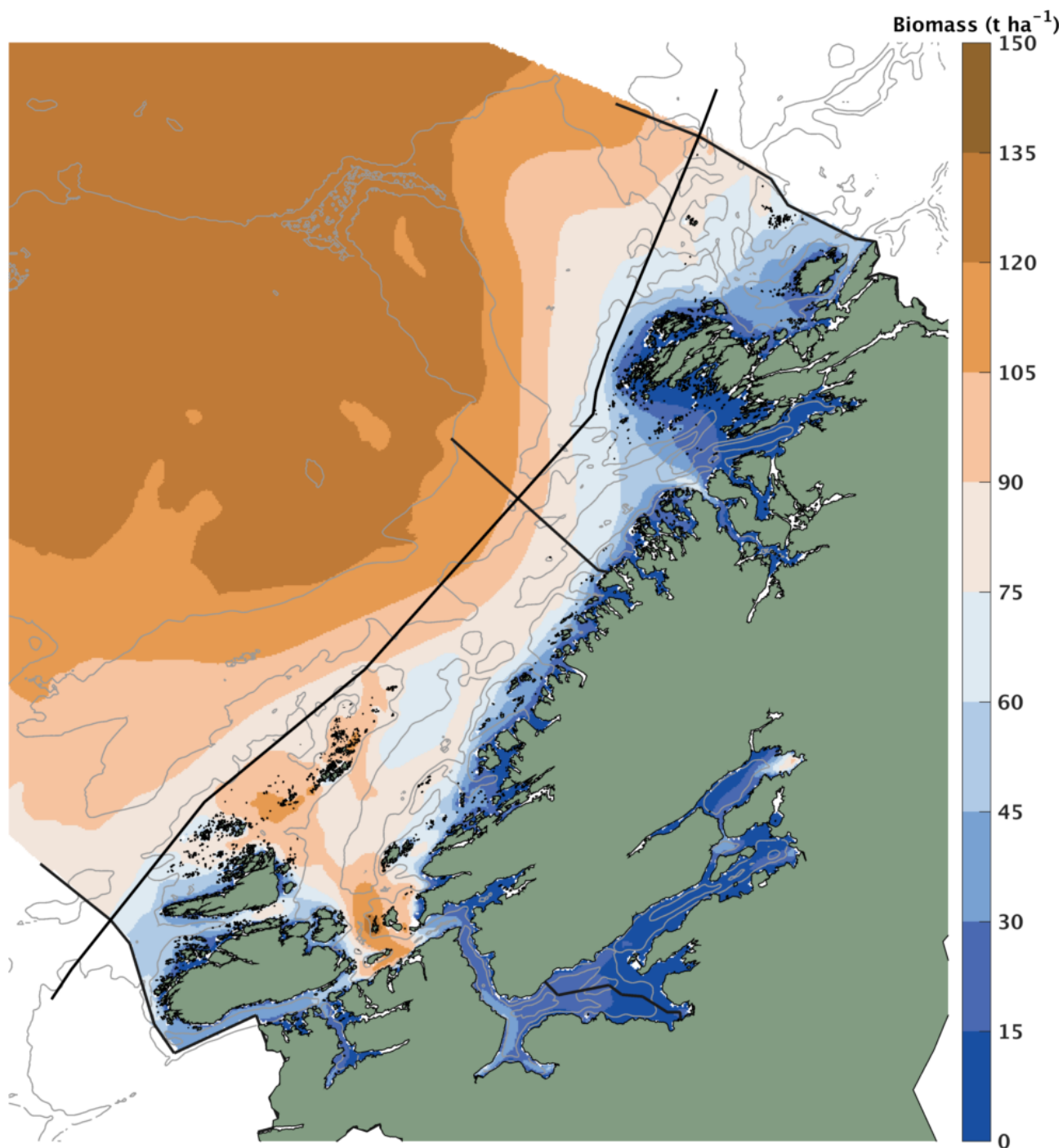
Hvilke utenlandske industrier leverer dere primært til?

9. Avslutning

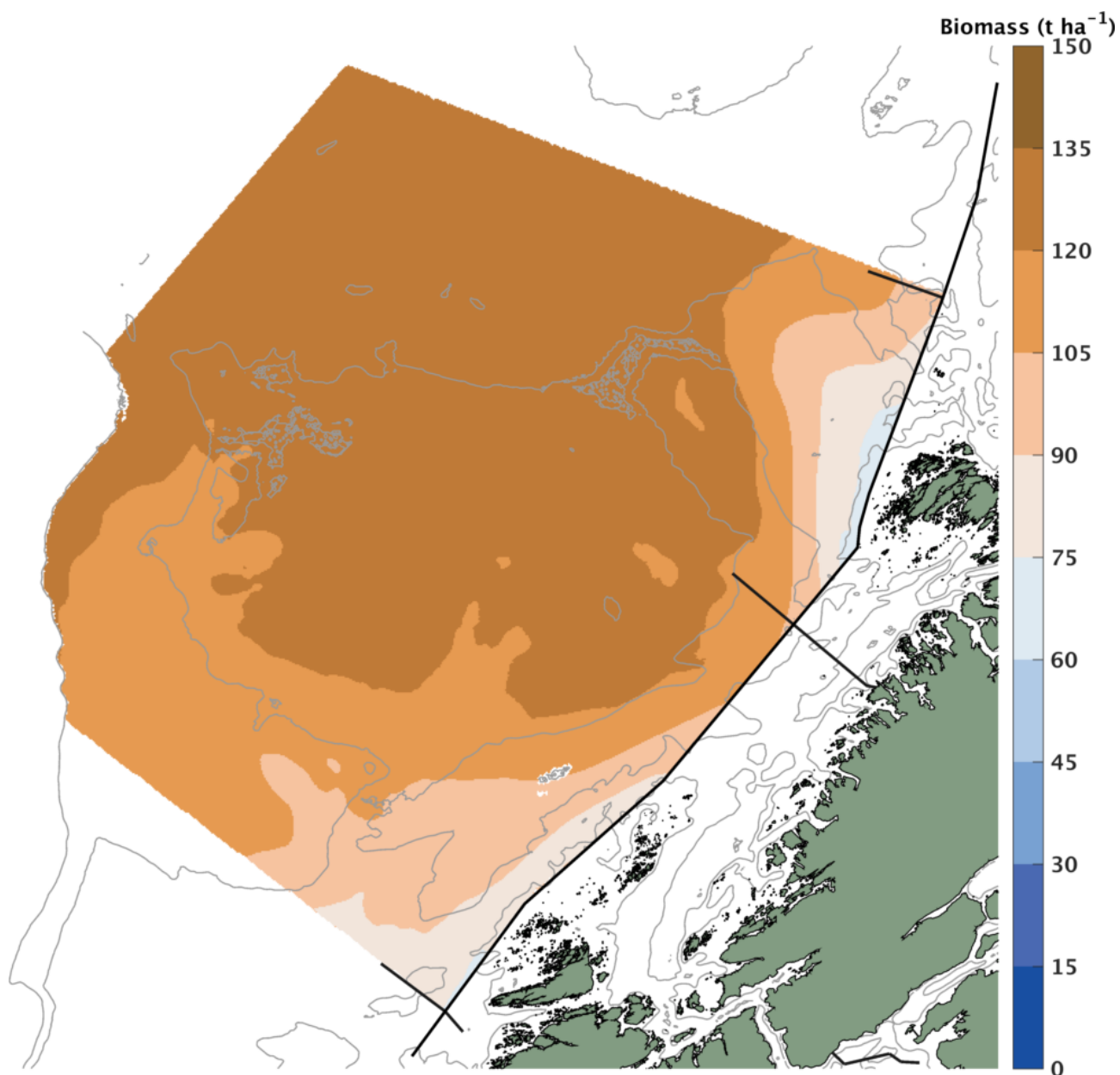
Er det andre ting du synes er viktig som vi ikke har vært inne på?

Figur B.3: Intervjuguide, side 3 av 3.

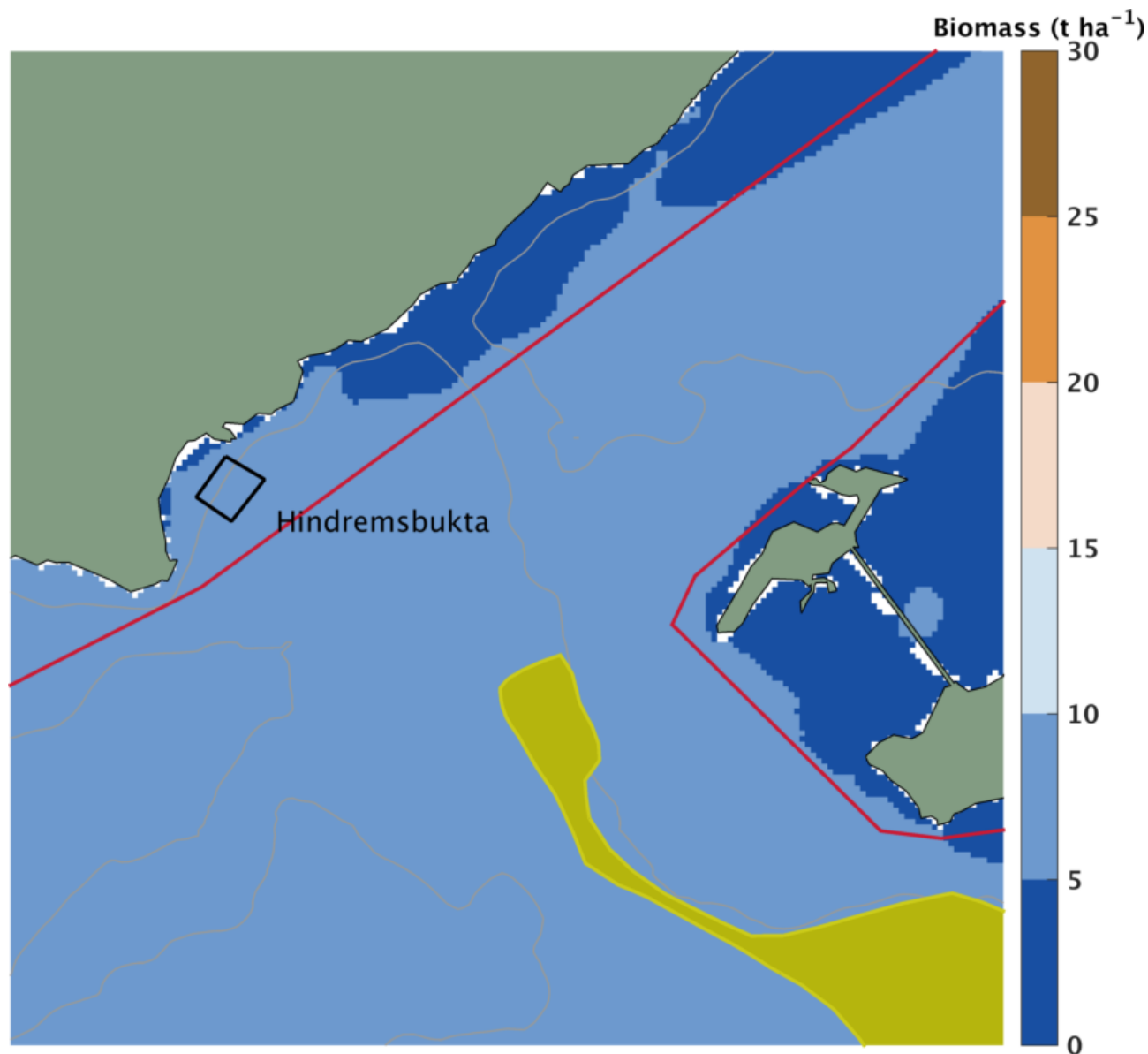
C Noen tilleggsresultater



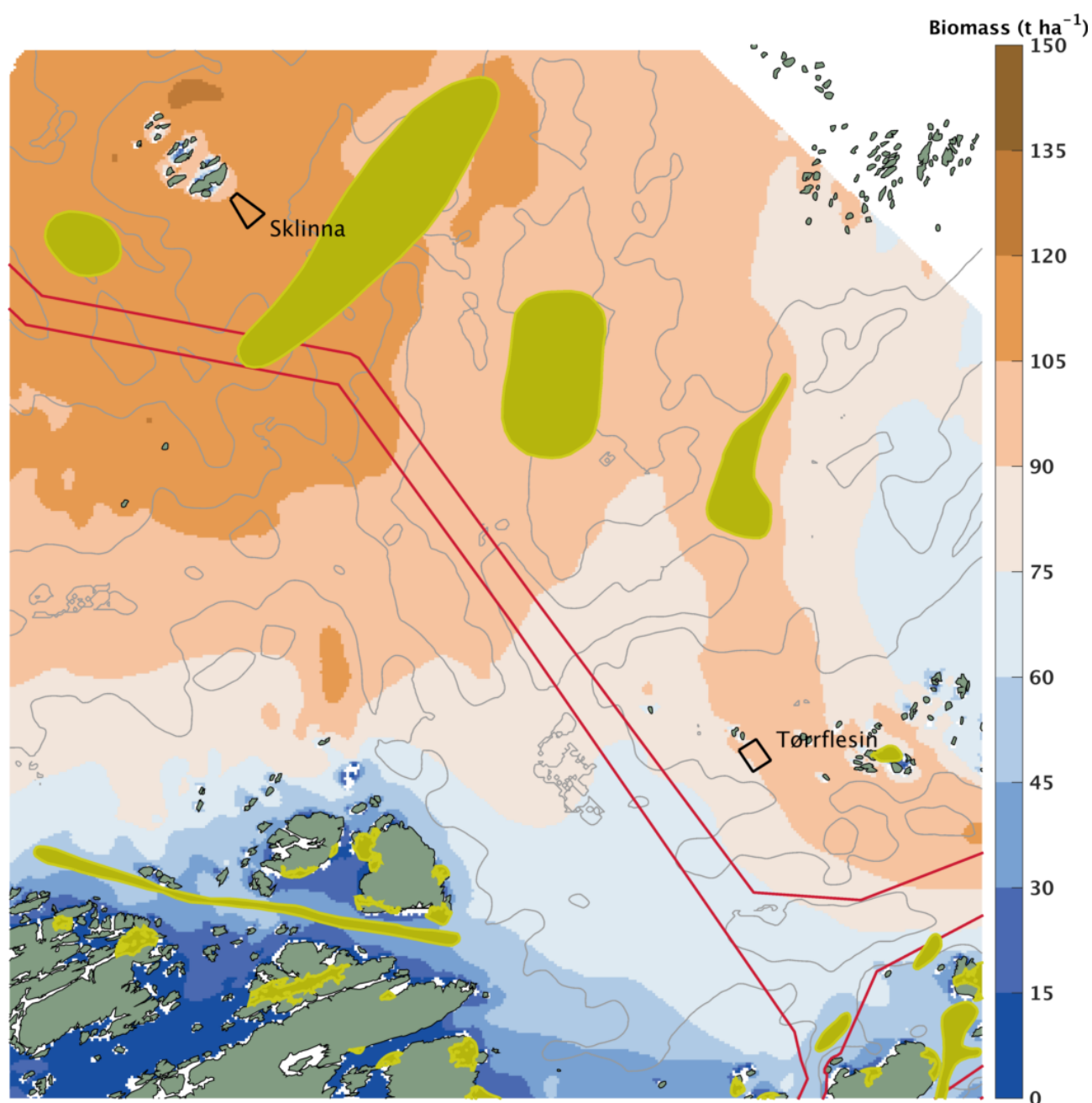
Figur C.1: Simulert produksjonspotensial for sukkertare i Trøndelag. Tallene oppgir våtvekt per hektar og forutsetter utsett i begynnelsen av februar og innhøsting i begynnelsen av juni samme år. Tallene er gjennomsnittsverdier for perioden 2013-2016. Legg merke til at fargeskaleringen er annerledes enn i figur 3.10.



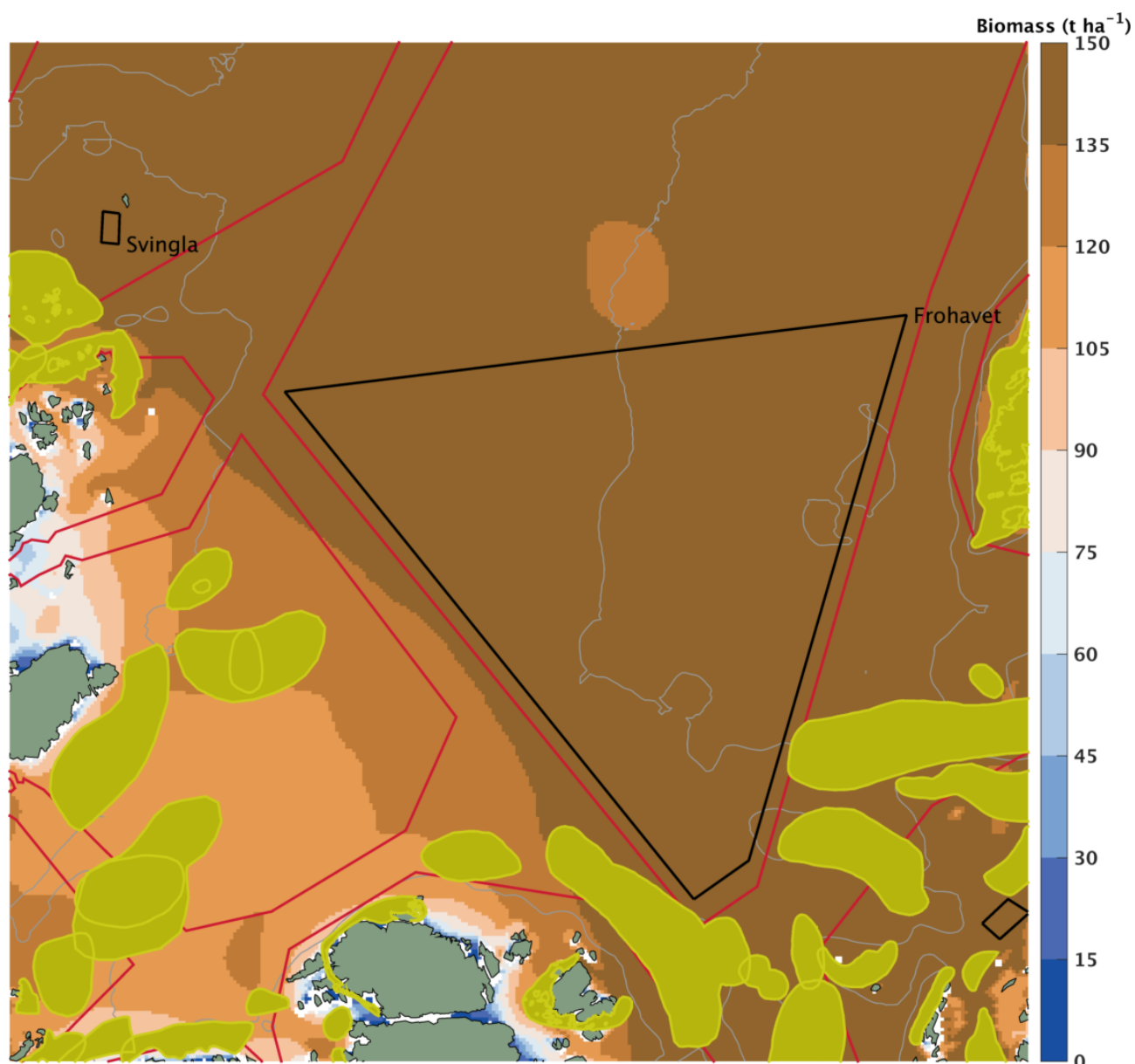
Figur C.2: Simulert produksjonspotensial for sukkertare på kontinentalsokkelen utenfor grunnlinjen til Trøndelag. Det er forutsatt dyrking fra februar til juni. Merk at området her er kunstig avgrenset av den numeriske modellens område i det nordvestre hjørnet.



Figur C.3: Plassering av et anlegg i Hindremsbukta (rundt 50 ha). Anlegget er ikke i konflikt med andre interesser. Totalproduksjonen er 268 tonn. Fargeskaleringen antyder simulert potensial for biomasseproduksjon per arealenhet fra februar til juni, 2016. De tynne, grå kurvene er 100, 200 og 300 meters dybdekonturer. De røde linjene avgrensar farledsareal, mens de gule krundene avgrensar fiskerisoner. Dataene for farled og fiskeriområder er lastet ned fra Fiskeridirektoratets kartverktøy.



Figur C.4: Eksempel på lokalisering av to taredyrkingstillatelser i Nord-Trøndelag, ved Sklinna og Tørrflesin. Fargeskaleringen antyder simulert potensial for biomasseproduksjon pr arealenhet fra februar til juni, 2016. De tynne, grå kurvene er 100, 200 og 300 meters dybdekonturer. De røde linjene avgrensar farledsareal, mens de skittengule områ avgrensar fiskerisoner. Dataene for farled og fiskeriområder er lastet ned fra Fiskeridirektoratets kartverktøy.



Figur C.5: Illustrasjonseksempel på lokalisering av noen taredyrkingstillatelser i Frohavet-området. Fargeskaleringen antyder simulert potensial for biomasseproduksjon pr arealenhet fra februar til juni, 2016. De tynne, grå kurvene er 100, 200 og 300 meters dybdekonturer. De røde linjene avgrensar farledsareal, mens de gulgrønne feltene er fiskerisoner. Dataene for farled og fiskeriområder er lastet ned fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Anlegget ved Svingla dekker 26 ha og har en totalproduksjon på 3678 tonn. Det større området i Frohavet dekker rundt 100 km², men kommer ikke i konflikt med farled, fiskeri eller verneinteresser. Ulempen er at det er relativt stort bunndyp i dette området. Gjennomsnittsproduksjonen innen dette området er 144 tonn per hektar, og totalt ville området kunne gi rundt 1,4 millioner tonn dersom hele produksjonen var samtidig realiserbar.

D Dyrkingsforsøk

Dyrkingsforsøkene som er gjengitt i figur 3.20 er gjennomført i to prosjekter finansiert av Norges forskningsråd: MACROBIOMASS (nummer 199391/I10, 2010-2013) og det pågående PROMAC-prosjektet som ledes av Møreforskning (www.promac.no). Noen av dataene er tidligere publisert ([10, 24]), mens resten av datagrunnlaget foreløpig er upublisert. Dette gjelder lokalitetene 1, 2, 3 og 5 i figur 3.20.



Teknologi for et bedre samfunn
www.sintef.no