

TAREMOTTAK

Grunnlag for etablering av et felles mottaksanlegg for makroalger på Nordmøre

PROSJEKTTITTEL	TareMottak
FORFATTER	Pierrick Stévant, Céline Rebours
PROSJEKTLEDER	Pierrick Stévant
RAPPORT NR.	20-10
SIDER	44
PROSJEKTNUMMER	55083
OPPDRAAGSGIVER	Møre & Romsdal Fylkeskommune Kontakter Rebekka Varne: rebekka.varne@mr fylke.no Bengt Endreseth: bengt.endreseth@mr fylke.no

SAMMENDRAG

Makroalgeproduksjon basert på dyrking av biomasse vokser raskt i Norge. En av de store utfordringene for utvikling av denne nye næringen er tilknyttet prosessering. Effektive metoder for stabilisering og videre bearbeiding av store volum av råstoff etter høsting mangler fortsatt. Møreforskning AS har på oppdrag fra Møre og Romsdal fylkeskommune utredet muligheten for et felles mottaksanlegg for makroalger på Nordmøre. Kvalitative data ble samlet inn under intervjuer av relevante næringsaktører (makroalgedyrkere, teknologileverandører og industrielle kjøpere av biomasse) for å beskrive dagens bruksområder og metoder for mottak og prosessering av biomasse. Basert på disse dataene og næringens ønsker og behov rundt prosessering av makroalger ble konkrete forslag lagt frem for videre arbeid mot etablering av et lønnsomt, effektivt og skalerbart mottaksanlegg. En slik struktur vil kunne involvere industrielle aktører langs hele verdikjeden samt offentlige myndighetene og relevante FoU-miljøer for å stimulere innovasjon og verdiskaping fra dyrket makroalgebiomasse. Et felles mottaksanlegg vil føre til økt spesialisering i den nye næringen. Effektiv bruk av økonomiske ressurser ved å dele investeringskostnadene, vil gi flere aktører mulighet for å utvikle effektive og bærekraftige løsninger for stabilisering og videreforedling av dyrket råstoff. Høykvalitets produkter fra makroalger mot relevante markeder (mat, fôr, helsekost og kosmetikk) vil sikre inntjening i næringen. Det er viktig å definere mottaksanleggets rolle i verdikjeden og interessentenes medvirkning i planleggingsfasen. Det er videre gjort betraktninger om hvilke prosesser som bør prioriteres i anlegget.

FORORD

Prosjektet «TareMottak» ble finansiert av Møre & Romsdal fylkeskommune.

Vi takker intervjurespondentene fra næringen for å dele sin erfaring og meninger rundt sentrale problemstillinger tilknyttet prosessering av makroalger.

Pierrick Stévant
(Prosjektleder)

SUMMARY IN ENGLISH

The production of macroalgae based on biomass cultivation is growing rapidly in Norway. One of the major challenges for the development of this new industry is related to processing of the biomass. Efficient methods for the stabilization and further processing of large volumes of raw material after harvest are still missing. On behalf of the Møre og Romsdal County Council, Møreforsking AS has studied the concept of a joint pilot reception facility for cultivated macroalgae in the Nordmøre region. Qualitative data was collected during interviews with relevant stakeholders (macroalgae cultivators, technology suppliers and industrial buyers of biomass) to describe current applications and methods for receiving and processing biomass. Based on that and on the industry's wishes and needs regarding the processing of macroalgal biomass, concrete proposals were put forward to further the work towards establishing a profitable, efficient and scalable reception facility. Such a structure may involve industrial actors along the entire value chain as well as public authorities and relevant R&D environments to stimulate innovation and create value from cultivated macroalgae. A shared reception facility will lead to more specialization in this new industry. Efficient use of financial resources by sharing the investment and operational costs will allow stakeholders to develop efficient and sustainable solutions for the stabilization and further processing of cultivated raw materials. High-quality products from macroalgae to relevant markets (food, animal feed, nutraceuticals and cosmetics) will make the industry profitable. The role of the facility in the value chain and stakeholders' participation in the structure are included as important factors to define in the planning phase. Considerations have also been made regarding relevant stabilization processes to be prioritized in the facility.

INNHold

Summary in English	4
1. Innledning.....	6
1.1. Generelt.....	6
1.2. Tidligere gjennomførte prosjekter	7
1.3. Makroalgesatsing i Møre og Romsdal og på Nordmøre	8
2. Bakgrunn	10
2.1. Norsk makroalgenæring basert på dyrket biomasse	10
2.2. Prosessering av makroalger	13
3. Metodebeskrivelse.....	15
3.1. Datainnsamling: semi-strukturerte intervjuer	15
3.2. Dataanalyse	15
4. Resultat fra intervjuene.....	17
4.1. Beskrivelse av utvalget.....	17
4.2. Roller i verdikjeden	17
4.3. Markeder og tilhørende krav til kvalitet og volum	18
4.4. Stabiliseringsmetoder for makroalgebiomasse	22
4.5. Samarbeid og Interesse for et pilot mottaksanlegg.....	25
5. Diskusjon	27
5.1. Verdikjede av dagens makroalgenæring i Norge	27
5.2. Aktuelle stabiliseringsmetoder	29
5.3. Viktige faktorer for etablering av et felles mottaksanlegg på Nordmøre.....	32
6. Konklusjoner og anbefaling for videre arbeid.....	36
Referanser	38

1. INNLEDNING

1.1. GENERELT

Ettersom verdensbefolkningen forventes å øke til over 9 milliarder mennesker i løpet av de neste 40 årene, er det et økende press for å produsere mer mat og fôr på en bærekraftig måte. Økende landbruksproduksjon er ofte forbundet med forverring av økosystemer som avskoging, redusert biologisk mangfold og eutrofiering av akvatiske systemer (FAO 2011). Strategier for å imøtekomme etterspørselen peker mot verdikjeder knyttet til fornybare ressurser og reduserte miljøpåvirkninger inkludert karbonutslipp, for å støtte globale tiltak mot klimaendringer og totalutnyttelse av produsert biomasse. I denne sammenhengen anses makroalger (også kalt "tang og tare") som en lovende ressurs for bærekraftig produksjon av mat og dyrefôr (Barbier et al. 2020).

Makroalger er en rik kilde til næringsstoffer som f.eks. mineraler, fibre, vitaminer, sporstoffer og andre helsefremmende forbindelser som gir fordeler utover grunnleggende behov for ernæring (Holdt and Kraan 2011; Wells et al. 2017). Et bredt spekter av spiselige makroalgearter er også verdsatt for sine unike smaker og inngår i daglige kulinariske anvendelser, spesielt i Asia. Utnyttelsen av makroalger i vestlige land har hovedsakelig fokusert på industriell utvinning av polysakkarider som fortykningsmiddel til matindustrien (f.eks. alginater), men bruk av denne ressursen som mat- og helsefremmende ingredienser i matindustrien har fått økende interesse de siste tiårene. Makroalger er anerkjent som en kilde til bioaktive forbindelser med bruksområder i mat som f.eks. funksjonelle¹ ingredienser og kosttilskudd. Kjemiske sammensetning av ulike makroalgearter og tilhørende helsemessige fordeler fra forskjellige bioaktive stoffer er godt dokumentert i vitenskapelige litteratur (MacArtain et al. 2007; Holdt and Kraan 2011; Fleurence and Levine 2016; Wells et al. 2017). Navn som butare (*Alaria esculenta*), sauetang (*Pelvetia canaliculata*) og grisetang (*Ascophyllum nodosum*) vitner også om tradisjonell bruk av makroalger som fôrtilskudd i Norge. Nyere kunnskap om funksjonelle egenskaper fra ulike arter har gjenopplivet interessen for bruk av denne ressursen i produksjon av fôringredienser til både husdyr i landbruk og marine arter i havbruk (Vatsos and Rebours 2015; Øverland et al. 2019; Granby et al. 2020)

Makroalger har også fått betydelig oppmerksomhet som et mulig råstoff for flere bruksområder inkludert biodrivstoff, -plast og -kjemikalier, kosmetiske og farmasøytiske produkter. Bioraffinerikonsepter for verdiskaping av hele biomassen ved utnyttelse av både høyverdige komponenter og avfallsstrømmer er under utvikling (Torres et al. 2019, [NFR-PROMAC](#), [The Norwegian Seaweed Biorefinery Platform](#)).

¹ Begrepet "funksjonell" brukt i denne rapporten er assosiert med matvarer og matingredienser som gir helsemessige fordeler (basert på vitenskapelig dokumentasjon) utover fremskaffelse av essensielle næringsstoffer.

Makroalgebiomasse kan dyrkes i storskala i kystområder ved bruk av tilgjengelige næringsalter uten å konkurrere om ferskvann eller jordressurser. Flere brunalgearter (f.eks. sukkertare) vokser raskere enn planter fra landbruksproduksjon, noe som gjør biomasseproduksjon fra tare attraktivt for industrielle formål. Norge har en lang kystlinje med en veletablert havbrukssektor som gir gode forutsetninger for utvikling av storskala dyrking av makroalger. I løpet av de siste tiårene har både forskningsmiljøer, industriaktører og offentlige myndigheter satset på å utvikle en ny norsk bioøkonomi basert på dyrking og prosessering av makroalgebiomasse. Fremtidsperspektiver for industriell utvikling er positive (Stévant et al. 2017c) i tråd med internasjonale strategier for bærekraftig næringsutvikling (f.eks. EUs «Blue Growth», FNs bærekraftsmål) (Barbier et al. 2020). Fremgang innen dyrkingsteknologi inkluderer helårs produksjon av sporer og kimplanter fra sukkertare (*Saccharina latissima*) (Forbord et al. 2012) og det er anslått høye produksjonsutbytter (150 – 200 tonn våtvekt ha⁻¹ år⁻¹) (Handå et al. 2013; Broch et al. 2019).

Makroalgedyrking i stor skala kan innebære tekniske og logistiske utfordringer. Imidlertid er det flere flaskehalsar som må løses for å etablere lønnsom produksjon av makroalger. Dette omfatter særlig prosesser knyttet til håndtering, bearbeiding og lagring. En av hovedutfordringene for industrielle aktører er å ivareta kvaliteten etter høsting på grunn av det høye vanninnholdet i makroalger (70 til 90 % av våtvektet) og rask forringelse. Optimaliserte og lønnsomme prosesseringsstrategier for å levere produkter av høy kvalitet mangler fortsatt. Dette ble påpekt som en stor utfordring for fremtidig industriell utvikling (Stévant et al. 2017c; Emblemsvåg et al. 2020). Det er derfor et behov for å utvikle kostnads- og energieffektive prosesseringsstrategier for å opprettholde eller øke produktkvalitet og maksimere biomasseutnyttelse.

Effektive konserveringsmetoder som opprettholder kvalitet, er avgjørende for lønnsomhet og etablering av en robust næring for fremtiden. Egnetheten til en metode avhenger ikke bare av kvaliteten på sluttproduktet, men også av energikrav samt tilhørende investerings- og driftskostnader. Skal man realisere verdiskaping av denne ressursen, er det avgjørende å etablere kunnskap om kritiske faktorer for effektiv behandling av biomassen etter høsting.

1.2. TIDLIGERE GJENNOMFØRTE PROSJEKTER

I 2015 ble det kartlagt kunnskap om tørking av makroalger og utredet muligheter for et pilotørkeanlegg i Møre og Romsdal (Stévant et al. 2015) i et forprosjekt². Industriaktører både i Norge og på Island f.eks. FMC Biopolymer (nå DuPont Nutrition & Biosciences BioPolymer AS) og Thorverk hf ble involvert for å kartlegge ønsker og behov innen tørkemetoder med hensyn til krav til produkt, samt økonomisk lønnsomhet. Bruk av spillevarme fra industrielle prosesser ble påpekt som et mulig tiltak for å redusere energikostnader fra tørkeprosessen og øke bærekraft i verdikjeden. Forprosjektet ble videreført og det ble gjennomført en rekke praktiske forsøk innen prosessering av makroalger (inkludert tørking) under det internasjonale og tverrfaglig PROMAC-

² Oppdrag fra Møre og Romsdal fylkeskommune til Møreforskning Ålesund AS: "Kartlegging av kunnskap for utredning av et pilotørkeanlegg for makroalger i M&R".

prosjektet (NFR-244244) samt andre tilknyttede prosjekter. Innsamlede data under tørkeforsøk samt data fra Tafjord Kraftvarme AS om spillevarmeproduksjon er under behandling i en tekno-økonomisk analyse (Nordtvedt et al. manuskript under arbeid). Målet med dette er å identifisere muligheter for utnyttelse av overskuddsvarmen for industriell tørking av makroalger.

I sammenheng med overnevnte forprosjekt arrangert Møreforskning i samarbeid med Tafjord Kraftvarme i februar 2016 en workshop om tørking av marint råstoff³. Totalt fikk 42 deltakere fra industri (biomarin industri, makroalgenæringen og utstyrsleverandører), FoU-miljø og virkemiddelapparat anledning til å komme med betraktninger rundt muligheter, ønsker og behov for etablering en felles infrastruktur (såkalte «tørkehotell»). Ut fra faglige foredrag og gruppearbeid ble viktige momenter og FoU-oppgaver relatert til i) energi- og råstoffgrunnlag, ii) utstyr- og teknologibehov, iii) kompetanse og iv) logistikk påpekt som vesentlige for fremtidig etablering av et pilotanlegg for tørking av makroalger og annet marint råstoff (proteinhydrolysat, limvann). Imidlertid utgjør etablering av et slikt felles pilotanlegg store investeringskostnader som verken aktører av makroalgenæringen eller biomarin industri kunne eller ønsket å finansiere på den tiden.

1.3. MAKROALGESATSING I MØRE OG ROMSDAL OG PÅ NORDMØRE

Hovedtyngden av marin og biomarin industri i Norge befinner seg i Møre og Romsdal. Regionen har en tradisjon innen fiskeri, havbruk og foredling av marine ressurser og har vært i forkant av utviklingen av den nye makroalgenæringen i Norge med mye aktiviteter tilknyttet FoU-miljø og næringslivet. I de siste årene har også regionen tilrettelagt for utvikling av industriell dyrking av makroalger ved å etablere FoU-samarbeid, særlig på Nordmøre, gjennom flere prosjekter (f.eks. TAREAL, Akvalab, Ocean Seaweed Center, FermentALG).

Dette prosjektet er en del av Møre og Romsdals strategi for å tilrettelegge utvikling av kommersiell dyrking og bærekraftig utnyttelse av makroalgebiomasse. Som en viktig forutsetning må man etablere bærekraftige verdikjeder fra biomasseproduksjon og -prosessering til produktsalg. I denne sammenheng er det foreslått å etablere et felles pilot-anlegg for mottak og prosessering av makroalgebiomasse som vil kunne benyttes av flere aktører både regionalt og nasjonalt, og dermed legge til rette for utvikling av makroalgenæringen.

I dette prosjektet har Møreforskning AS på oppdrag fra Møre og Romsdal fylkeskommune utredet næringens behov og ønsker rundt dette. Basert på kvalitative data innsamlet under intervjuer av relevante næringsaktører (makroalgedyrkere, teknologileverandører og industrielle kjøpere av biomasse) ble dagens kommersielle anvendelser og metoder for mottak og konservering av biomasse kartlagt. Utfordringene tilknyttet prosessering av makroalger ble identifisert som et første trinn mot optimalisering av verdikjeden. Dette arbeidet utgjør et grunnlag med konkrete

³ Arrangement finansiert av Virkemidler for regional FoU og Innovasjon (VRI) Møre og Romsdal.

forslag for videre arbeid mot etablering av et lønnsomt, effektivt og skalerbart mottaksanlegg for dyrkede makroalger på Nordmøre.

2. BAKGRUNN

2.1. NORSK MAKROALGENÆRING BASERT PÅ DYRKET BIOMASSE

Globalt er makroalgedyrking en stor industri. I 2018 ble det produsert 32,3 millioner tonn makroalger ved dyrking, noe som utgjorde en verdi på nesten 120 milliarder NOK (FAO 2020). Produksjon foregår hovedsakelig i sjøområder i asiatiske land dvs. Kina, Indonesia (førstnevnte land står til sammen for over 86 % av den globale produksjonen), Filippinene, Sør og Nord Korea, og Japan. Hovedartene som dyrkes er rødalgeartene *Eucheuma* spp., *Kappaphycus alvarezii* og *Gracilaria* spp.. Disse brukes til fremstilling av polymerer (fykokolloider) til bruk i matindustrien for eksempel som fortykningsmiddel. Andre rødalger f.eks. *Pyropia* spp. (*nori*) og brunalger f.eks. *Saccharina japonica* (*konbu*) og *Undaria pinnatifida* (*wakame*) brukes direkte til mat som en viktig del av den kulinariske kulturen i disse landene.

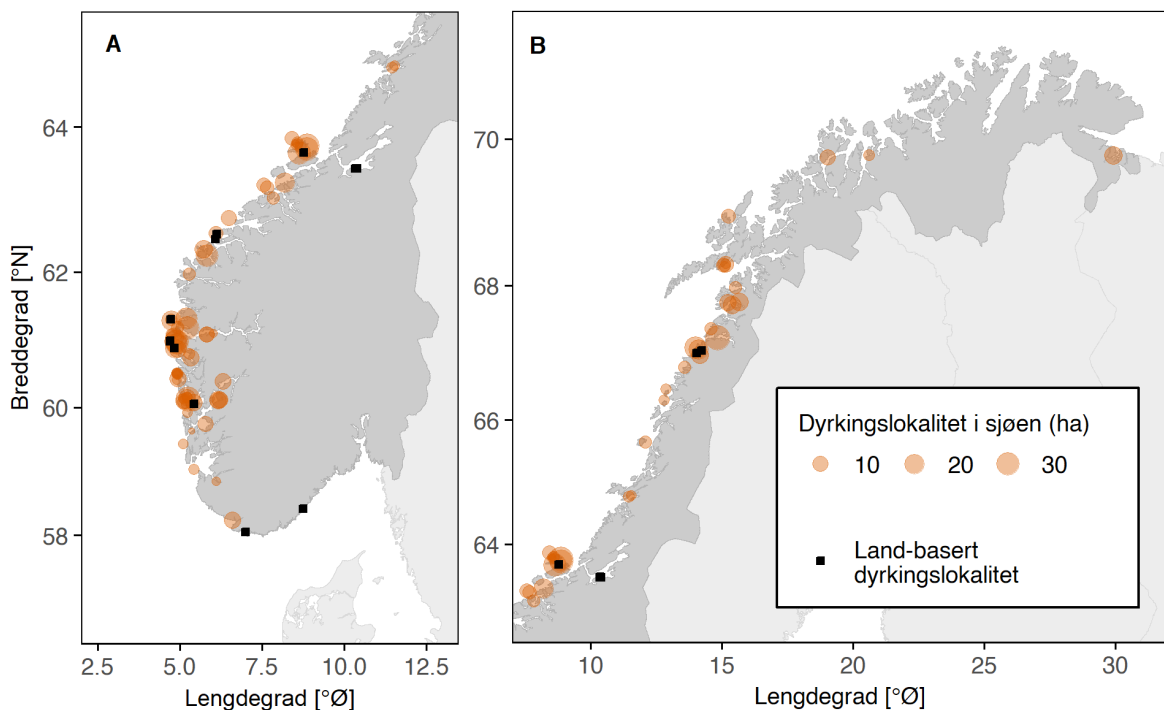


Fig. 1: Dyrkingstillatelser for makroalger langs norske kysten fra sør (A) til nord (B). Mørkere sirkler indikerer flere dyrkingssteder nær hverandre. Oppdatert fra Stévant et al. (2017c). Data fra Fiskeridirektoratet (2020a).

Makroalger dyrkes i langt mindre volum utenfor Asia. I følge FAO (2020), ble 5 300 tonn makroalger dyrket i Europa i 2018, som utgjør under 0,02 % av det totale dyrkede volumet globalt,

til en verdi av 87 millioner NOK. Selv om dette er en relativt ny industri i Europa, øker den vestlige etterspørselen av makroalgeprodukter med bakgrunn i nye trender som fremmer naturlige og bærekraftige kilder til næringsrike, funksjonelle og strukturelle ingredienser i matindustrien. Potensialet for bruk av makroalgebiomasse innen mat (Chapman et al. 2015; Wells et al. 2017) og andre kommersielle applikasjoner (fôr, farmasøytiske produkter, gjødsel, bioenergi og biomaterialer) (Bruhn et al. 2011) har vekket interessen for dyrking av makroalger i de siste tiårene. I tillegg kan avfall fra fiskeoppdrett i form av oppløste næringsalter utgjøre en ressurs for produksjon av makroalger i såkalte integrerte multitrofiske akvakultursystem (IMTA). IMTA betyr samkultivering av arter på ulik trofisk nivå, dvs. hvor ressursoverskudd fra én art (inkludert avføring) blir utnyttet som ressurs til en eller flere andre arter. I et slik system vil makroalger ta opp oppløste næringsalter fra fiskeoppdrett. Derfor har makroalgedyrking et potensial for å redusere noen av de negative miljøkonsekvensene fra aktiviteter knyttet til fiskeoppdrett (Troell et al. 2009; Chopin et al. 2012).

Norge har en lang kystlinje, kompetanse og infrastruktur tilknyttet produksjon og foredling av marint råstoff. Tradisjonelt har industriell utnyttelse av makroalger i Norge basert seg på høsting av naturlige bestander av stortare (*Laminaria hyperborea*, ca. 150 000 tonn årlig) til alginatproduksjon og grisetang (*Ascophyllum nodosum*, ca. 20 000 tonn årlig) til fôr og gjødsel. Makroalgedyrking har vært et aktivt forskningsområde i Norge de siste 15 årene som en del av den nasjonale strategien for å utvikle bioøkonomien basert på fornybar biomasseproduksjon (Skjeremo et al. 2014; Stévant et al. 2017c). Siden etablering av den første offisielle kommersielle tarekonsesjonen i sjø i 2014, har det totale arealet som ble tildelt makroalgedyrking økt raskt. I dag er over 900 hektar av kystnære områder avsatt til kultivering av makroalger (fig. 1). Dette tilsvarer et produksjonspotensial mellom ca. 130 000 og 170 000 tonn biomasse basert på beregningene for dyrkingsutbytte (Handå et al. 2013; Broch et al. 2019).



Fig. 2: Tareartene som produseres ved dyrking: (A) sukkertare (*S. latissima*) og (B) butare (*A. esculenta*)

Kommersiell makroalgedyrking er for tiden begrenset til brunalgene sukkertare (*Saccharina latissima*) og butare (*Alaria esculenta*) (fig. 2). Begge tareartene er tilknyttet rask vekst og høye biomasseutbytter, samt et gunstig innhold av ernæringsmessige og bioaktive forbindelser (Stévant et al. 2017b) med flere industrielle anvendelser. Den reelle nasjonale produksjonen, 178 tonn i 2018 (fig. 3A), ligger langt unna det ovenfornevnte potensialet, blant annet på grunn av at en stor andel av selskapene involvert i denne aktiviteten er i oppstartfase og ikke utnytter arealene fullt ut. En annen grunn til dette er at teknologien for produksjon og behandling av store volum med biomasse ennå ikke er utviklet. For å skape verdier og gjøre den nye norske makroalgenæringen til en lønnsom og bærekraftig industri, må den dyrkede biomassen bli til produkter. Antallet nye produkter fra norsk dyrkede makroalger har vært lite siden begynnelsen av industrialisering av biomasseproduksjon. Produktutvikling mot høyt betalende markeder er en prioritet for mange aktører. Fig. 3B viser at salgsverdien er mer enn tredoblet mellom 2018 og 2019 selv om produksjonsvolumet var mindre, noe som kan indikere at næringen har lyktes med produktutvikling og etablert samarbeid med industrielle brukere av makroalgebiomassen. Tallene for produksjon og salgsverdi i årene fremover vil kunne bekrefte denne trenden.

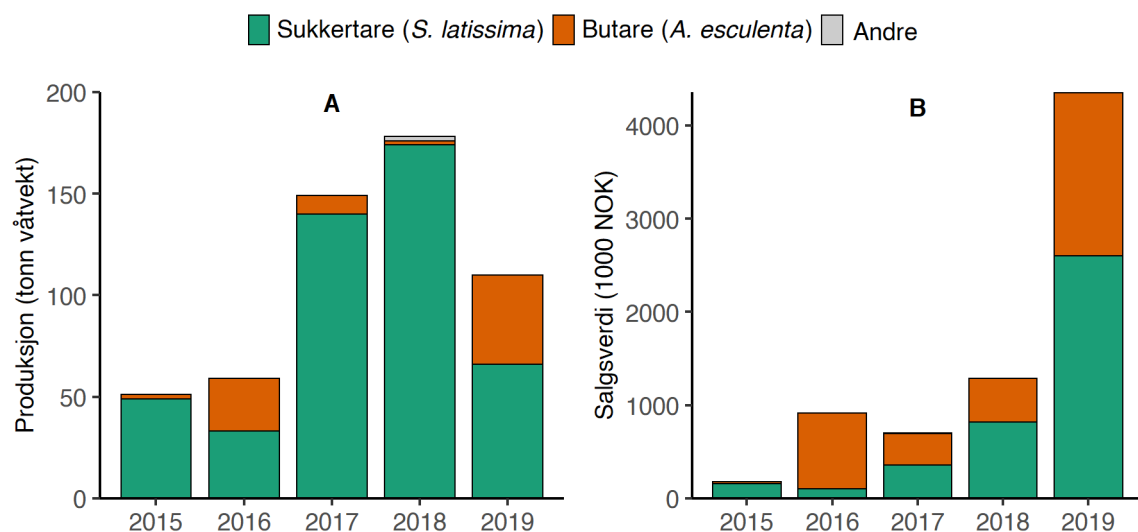


Fig. 3: (A) Kommersielt produksjonsvolum og salgsverdi (B) ved makroalgedyrking. Data fra Fiskeridirektoratet (2020b).

Kimplantene dyrkes frem fra mikroskopiske stadier (sporer eller gametofytter) under kontrollerte forhold og settes på egne substrater som tau, nøter eller tekstilark. Disse blir senere satt ut i sjøen mellom september og februar for videre vekst under naturlige forhold. Dyrkingsteknologi ble utviklet basert på biologisk kunnskap om tareartenes livssyklus (Forbord et al. 2012). Kultiveringsprotokoller for produksjon av andre arter som søl (*Palmaria palmata*) og havsalat (*Ulva* spp.) er også under etablering i samarbeid mellom forskningsmiljøer og private aktører. Mye

FoU-arbeid rettes mot utvikling av marin og maritim teknologi for å mekanisere utsetting i sjøen og høsting av biomasse, samt for å redusere behov for vedlikehold. Imidlertid er begroing av biomasse den største utfordring for helårs taredyrking. Sommersesongen er preget av høyt nivå av næringssalter i sjøen som danner grunnlag for oppblomstring av epifytter og annen begroing på tare (Førde et al. 2016). Både småalger (spesielt hurtigvoksende trådalger) og små virvelløse dyr bruker makroalger som substrat og reduserer dermed kvalitet til høstet biomasse. Det er derfor viktig å høste den før man får en signifikant etablering av epifytt- og epifauna-organismer som ofte skjer fra mai og utover. Nye forskningsresultater viser store lokale variasjoner i begroingspåslag (mengde organismer og taksonomiske grupper involvert) påvirket av eksponeringsforhold og ferskvannsavrenning (Matsson et al. 2019). Begroingsutbrudd vil også begynne senere i sesongen lengre nord (Forbord et al. 2020), noe som fremhever muligheten for å produsere makroalgebiomasse over en lengre periode langs hele norskekysten.

Sesongbasert begroingsutbrudd ved makroalgedyrking fører til en komprimert høstingsperiode der store mengder biomasse hentes ut og skal konserveres før neste ledd i verdikjeden, helst i løpet av noen få uker. Makroalger inneholder også mye vann og forringes raskt etter høsting. Dette setter store krav til konservering og transport av biomasse fra høsting til videre prosessering i industriell skala. Energi- og kostnadseffektive prosesseringsstrategier som gir høy produktkvalitet til ulike bruksområder for makroalgebiomasse mangler fortsatt. Dette er identifisert som en stor flaskehals for industriell utvikling av makroalgenæringen i Norge (Stévant et al. 2017c; Emblemsvåg et al. 2020).

Tilgang til råstoff året rundt er en forutsetning for å oppfylle en økende etterspørsel etter makroalger. Utvikling av denne næringen innebærer at det totale dyrkingsområdet i sjøen må utvides. Selv om etterspørselen i nær fremtid kan oppfylles ved dyrking i kystsonen vil videre oppskalering av den norske makroalgeproduksjonen til antydte nivå (20 millioner tonn og 40 milliarder i omsetningsverdi; Olafsen et al 2012) være begrenset ved kysten på grunn av mange konkurrerende interesser i området. Modellsimuleringer viser bedre og mer stabile forhold for makroalgevekst lenger ut i havet på grunn av f.eks. lavere variasjon i saltholdighet og temperatur, og muligens mindre utsettelse for begroing (Broch et al. 2016; Broch et al. 2019). Likevel medfører offshore-aktiviteter tekniske utfordringer som inkluderer fortøyning av dyrkingsstrukturene og slitasje under vanskelig værforhold, samt krevende logistikk fra utsetting av kimplanter i sjøen til høsting og prosessering av biomasse (Bak et al. 2020). Kunnskaps- og kompetanseoverføring fra eksisterende maritime næringer (f.eks. olje og gass) er en nøkkelfaktor for utvikling av en fremtidig produksjon av makroalger til havs. For å oppnå dette må effektive prosesseringsstrategier etableres med fokus på produktkvalitet, verdiskaping og bærekraft langs hele verdikjeden for å støtte utvikling av makroalgenæringen i Norge.

2.2. PROSESSERING AV MAKROALGER

Produkter med relativt høy markedsverdi som mat og fôringredienser vil være viktig for verdiskaping fra norskdyrkede makroalger (Stévant et al. 2017c). En av hovedutfordringene for

industrielle aktører er å ivareta kvaliteten etter høsting. Ettersom store mengder biomasse høstes innenfor et begrenset tidsrom er det viktig å ha gode metoder som sikrer holdbarheten under lagring. Effektive conserveringsmetoder som minimerer tap av verdifulle komponenter og opprettholder kvaliteten er derfor avgjørende for lønnsomheten og fremtiden for den nye næringen basert på dyrkede makroalger (Emblemsvåg et al. 2020). Tørking ved bruk av ulike teknologier blir ofte brukt for å stabilisere makroalgebiomasse, men kan påvirke produktkvalitet, særlig ved bruk av høy temperatur (> 40-50 °C; Sappati et al. 2017, Stévant et al. 2018b). I tillegg er tørking av makroalgebiomasse svært energikrevende, noe som reduserer bærekraft og lønnsomhet i hele verdikjeden (van Oirschot et al. 2017; Philis et al. 2018). Frysing kan også brukes som stabiliseringsmetode med relativt sett lavere energikostnader (Stévant et al. 2018a). I Norge og i Møre og Romsdal er store mengder overskuddsvarme tilgjengelig fra forskjellige industrielle prosesser og integrerte modeller som bruker denne sekundære energikilden foreslås til prosessering av makroalgebiomasse (Philis et al. 2018).

Anaerob fermentering (også kalt ensilering i landbruk) er sett på som et godt alternativ fordi det ikke krever tilført energi. Målet med ensilering er å senke biomassens pH (vanligvis til under 4,0) og dermed vannaktiviteten for å hemme veksten av uønskede mikroorganismer (f. eks. Clostridia, gjær, mugg). Dette kan oppnås ved tilsetning av melkesyrebakterier (MSB) av terrestrisk opprinnelse som *Lactobacillus plantarum*, som vil konvertere fermenterbare sukkerarter og dermed produsere melkesyre (Uchida et al. 2004), eller ved direkte bruk av syre (Sandbakken et al. 2018). Makroalgeråstoffets kjemiske sammensetning utgjør en utfordring for konservering av biomasse ved ensilering på grunn av et lavt tørrstoffinnhold, generelt lave nivåer av fermenterbare sukkerarter og høye anion-nivåer (f.eks. klorid og sulfat) som gir motstand mot å senke pH (referert som høy bufferkapasitet) (Herrmann et al. 2015). Imidlertid har sukkertare vist et godt potensial for anaerob fermentering sammenlignet med andre arter (Herrmann et al. 2015; Cabrita et al. 2017; Campbell et al. 2020).

Prosessering av makroalgebiomasse er for tiden et prioritert forskningsområde, men man mangler fortsatt kunnskap om hvordan ulike behandlings- og conserveringsmetoder (som f.eks. fermentering) påvirker produktkvalitet i forhold til relevante bruksområder for dyrket biomasse. Prosessene må tilpasses for hver makroalgeart og hvert produkt. Det er også behov for utvikling av tekniske løsninger for storskala konservering, prosessering og salg av råstoffet. Effektive løsninger vil støtte den nødvendige industrialisering og gi muligheter for bærekraftig utvikling av denne næringen.

3. METODEBESKRIVELSE

3.1. DATAINNSAMLING: SEMI-STRUKTURERTE INTERVJUER

Semi-strukturerte intervjuer ble valgt som en egnet metode for å innhente detaljert informasjon om meninger og holdninger rundt industriell prosessering av dyrket makroalgebiomasse samt etablering av et pilot-mottaksanlegg. Forskningsintervjuer muliggjør en fordykning i kompleks atferd og motivasjon ved innsamling av et mangfold av betydninger, meninger og erfaringer. Den samme metoden ble brukt i en tidligere studie for å identifisere problemer og interessentenes bekymringer i forhold til utvikling av IMTA til et kommersielt produksjonsnivå (Alexander et al. 2016).

Intervjuene ble gjennomført med et utvalg av interessenter tilknyttet makroalgenæringen. Interessentene i utvalget tilhørte 3 ulike grupper som dekket hele verdikjeden: makroalgedyrkere, teknologileverandører og kommersielle brukere av dyrket biomasse. Førstnevnte gruppe var bredere representert i utvalget på grunn av studiens formål. Hovedandelen av utvalget bestod av etablerte aktører i deres respektive bransjer, rettet mot industrialisering (altså ikke nyetablerte selskaper med lite erfaring). Det var også viktig å inkludere aktører fra fylket (Møre og Romsdal). Relevante aktører ble identifisert fra tidligere prosjekter samt gjennom eget nettverk. Informasjon om prosjektet og intervju spørsmålene ble sendt til deltakerne på forhånd.

Kvalitative data ble samlet inn under semi-strukturerte intervjuer ved bruk av en intervjuguide. Guiden inneholdt 11 spørsmål delt i 4 seksjoner. Første seksjon kartla aktørens bakgrunn og forhold til makroalger samt deres rolle i verdikjeden. Andre seksjon identifiserte hvilke markeder interessentene er tilknyttet og hvilke krav (kvalitet og volum) de ulike markeder har for biomasse. Seksjon tre fokuserte på metoder og teknologi for stabilisering av høstet biomasse, deltakernes erfaring med relevante prosesser og deres ønsker for nye eller forbedrede metoder. Siste seksjon dreide seg om deltakernes meninger rundt samarbeid med andre aktører og deres interesse for et felles mottaksanlegg for dyrkede makroalger.

Intervjuene foregikk som digitale samtaler ved bruk av Microsoft Teams. Informert samtykke ble innhentet fra deltakerne og intervjuene ble tatt opp og transkribert. Intervjurespondentene fikk anledning til å endre og slette informasjon fra intervjurundene i etterkant. Intervjutranskript fra utenlandske deltakere ble oversatt til norsk etter validering av original versjon.

3.2. DATAANALYSE

Analysen av kvalitative data følger 3 hovedprosesser: datareduksjon, datavisning og konkludering (Miles et al. 2014). Intervjutranskriptene ble samlet inn, formatert og importert i NVivo12-programvaren (versjon 1.3, QSR International, Daresbury Cheshire, UK) for koding og sortering av kvalitative data. Intervjudataene ble redusert og gruppert i spesifikke kategorier knyttet til i) hovedtemaene beskrevet ovenfor og ii) interessentgruppene. Deretter ble dataene organisert i

komprimerte matriser slik at trender og mønstre for seg og på tvers av grupper lett kunne identifiseres og sammenlignes, slik at konklusjoner kunne trekkes.

Data fra intervjuene ble behandlet i henhold til gjeldende personvernforordning (GDPR, EU 2016/679). Navn og andre sentrale opplysninger om personer eller foretak ble slettet for å sikre anonymitet av innsamlet data. Prosjektet og databehandlingsplanen ble godkjent av Norsk Senter for Forskningsdata ([NSD](#), referanse: 463969).

4. RESULTAT FRA INTERVJUENE

4.1. BESKRIVELSE AV UTVALGET

Totalt ble det gjennomført 12 intervjuer av relevante industriaktører, fordelt mellom 3 interessentgrupper: makroalgedyrkere, teknologileverandører og industrielle brukere av dyrket makroalgebiomasse. De fleste intervjuobjektene ble valgt ut fra norsk næringsliv, men to var europeiske selskap innen makroalgedyrking (**tabell 1**).

Tabell 1: Antall intervjuer per interessentgruppe, fra Norge og utlandet.

	Norge	Utlandet
Makroalgedyrkere	5	2
Teknologileverandører	3	0
Brukere	2	0
Totalt	10	2

Makroalgedyrkere fra både Norge og utlandet ($n = 7$) besto av selskap med etablert produksjon mellom 2013 og 2017, hovedsakelig sukkertare og butare. Oppgitte produksjonsvolum fra aktørene for 2020 var mellom 15 og 150 tonn ferskt råstoff. To selskap var også involvert i produksjon av andre arter som f.eks. havsalat. Teknologileverandørene ($n = 3$) besto av selskap spesialisert innen tørking av vått råstoff. To av dem hadde erfaring med tørking av makroalger. Representanter fra etablerte selskap innen mat og fôrbransjen ($n = 2$) ble intervjuet som mulige kommersielle brukere av norsk dyrket biomasse. Begge hadde erfaring med bruk av makroalger i henholdsvis mat- og fôrformuleringer i pilotskala. To aktører i hele utvalget er lokalisert i Møre og Romsdal.

4.2. ROLLER I VERDIKJEDEN

Fra intervjuene kom det frem at biomassedyrkere er involvert i verdikjeden på forskjellige nivåer. Noen dekker alt fra biomasseproduksjon til utvikling av ferdige produkter og andre fokuserer kun på dyrking og primær prosessering, altså stabilisering av biomasse (**tabell 2**). Noen få intervjuede aktører driver også med sporeproduksjon og -salg (ved bruk av eget klekkeri) eller utvikling av dyrkingsteknologi. Hos enkelte kjennes det å jobbe langs hele verdikjeden som en ulempe, mens det betraktes som en fordel hos andre.

«Det er ikke optimalt, men realiteten er at vi gjør alt nå.»

«Det er det som er skjønnheten, at vi er gjennom hele verdikjeden. Vi dyrker vår egen biomasse [...]. Vi prosesserer. Vi driver med produktutvikling. Vi kjører forsøk. Vi selger. Vi driver med detaljhandel mot matapplikasjoner, gjødsel, farmasi, helsetilskudd, så det er virkelig A til Å.»
(makroalgedyrkere)

Største ulempe med dette hos enkelte viste seg å være at det kreves mye ressurser og fokus for å lykkes med de ulike segmentene i verdikjeden, mens hos andre gir det fleksibilitet for styring av produksjon og produktportefølje.

Utvalgte teknologileverandørene har interesse i å bistå næringen med utvikling av tørketeknologi tilpasset råstoff og sluttprodukt fra pilot til storskala. Kommersielle brukere (mat- og fôrprodusenter) posisjonerer seg som kjøpere av store mengder av enten råstoff (f.eks. ferskt, tørket eller fermentert) som kan videreføres etter behov, eller ferdigprodukt framstilt av makroalger (f.eks. fraksjon, ekstrakt) som kan brukes i en formulering.

4.3. MARKEDER OG TILHØRENDE KRAV TIL KVALITET OG VOLUM

I forhold til spørsmålet om hvilke markeder den produserte makroalgebiomassen retter seg mot nevner alle dyrkere mat som et viktig marked (**fig. 4A**). De bruker enten hele ($n = 3/7$) eller deler av sin produksjon ($n = 4/7$) mot matapplikasjoner. Dette inkluderer salg av store volum (bulk) til andre bedrifter som produserer matvarer med makroalgeingrediens, samt spesifikke produkter direkte rettet mot konsum (f.eks. tørket tarekrydder) ofte utviklet internt i bedriften. Selv om volumene som brukes i matapplikasjoner kan være begrenset hos enkelte makroalgedyrkere, er dette bruksområdet utpekt gjentatte ganger for sitt potensiale for verdiskaping.

«Ikke størst i volum, men størst i merverdi.»

«...de som betaler best. Det blir hovedsakelig som ingrediens og slike ting.»
(makroalgedyrkere)

Dyrefôr er også et viktig marked som over 50 % av dyrkerne er tilknyttet i større eller mindre grad. Tarebiomasse både til mat- og fôrapplikasjoner selges som ingrediens i tørket, fermentert eller frosset form. Respondentene i gruppen bestående av kommersielle brukere av makroalger nevnte tørket materiale som en lett form å jobbe med, med lang holdbarhet. Aktøren fra matbransjen har foreløpig kun testet tørket materiale under produktutvikling, men utelukker ikke andre former som fersk, fermentert eller frosset i fremtiden dersom de utfyller deres krav til produktkvalitet. Respondenten fra fôrindustrien har mer spesifikke krav til makroalgeingredienser, som må leveres «enten flytende eller i pulverform med en viss tørrstoffgrad» for å kunne brukes videre i fôrproduksjon.

Tabell 2: Reduserte data fra intervjuene om interessentenes rolle i verdikjeden og tilknytning til markeder for makroalgebiomasse. Setningene i fet skrift ble tatt opp av mer enn 50 % av intervjurespondentene i hver gruppe.

	Makroalgedyrkere (n =7)	Teknologileverandører (n = 3)	Brukere (n =2)
<i>Hvilke roller i verdikjeden har aktørene?</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Produksjon, primær prosess (stabilisering) (7/7) - Utvikling av dyrkings- og høstingsteknologi (1/7) - Produktutvikling, distribusjon og salg (2/7) - Sporeproduksjon og salg (2/7) 	<ul style="list-style-type: none"> - Utvikling av tilpasset teknologi for tørking av tang og tare (3/3) 	<ul style="list-style-type: none"> - Kjøper av råstoff (1/2) - Kjøper av ferdigprodukt framstilt fra makroalger (1/2)
<i>Hvilke markeder er de involvert i?</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mat (7/7) - Dyrefôr (4/7) - Kosmetikk og velvære (3/7) - Helsekost (1/7) - Gjødning (1/7) 		<ul style="list-style-type: none"> - Matprodukter for massemarkedet (ikke nisjeprodukter) (1/2) - Fôr (1/2)
<i>Hvilke krav til kvalitet er de underlagt eller stiller de?</i>	<p>Er underlagt krav til:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mattrygghet (ift. tungmetaller, jod, plantevernmidler og mikrobiologi) (7/7) - Økologisk sertifisering (5/7) - HACCP prosedyrer (3/7) - Begroing (gjelder særlig til mat) (2/7) - Egne krav fra kunden (f.eks. maks. antall timer mellom høsting og konservering, fuktighetsinnhold) (2/7) - Sporbarhet (1/7) 	<p>Generelt avhengig av kundenes behov.</p> <p>Underlagt krav mot:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mattrygghet (kravene fra Mattilsynet) (2/3) - Minimal oksidering og fargeendring (1/3) - Under 10% fuktighet (1/3) - Ikke noe stein, grus, ... (1/3) 	<p>Stiller krav til:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Stabil kvalitet (1/2) - Næringsinnhold f.eks. protein, fett, omega-3 (1/2) - Flytende eller pulverform (1/2) - Mattrygghet (ift. tungmetaller, jod, mikrobiologi og allergener) (1/2) - Smak og utseende (1/2)
<i>Hvilke krav til volum er de underlagt eller stiller de?</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Krav til volum enda udefinert pga. at markedet er under oppbygging (3/7) - Stabil leveranse (1/7) 		<p>Stiller krav til:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Store volum (i 10² tonn fersk biomasse) (2/2) - Stabil leveranse (2/2)

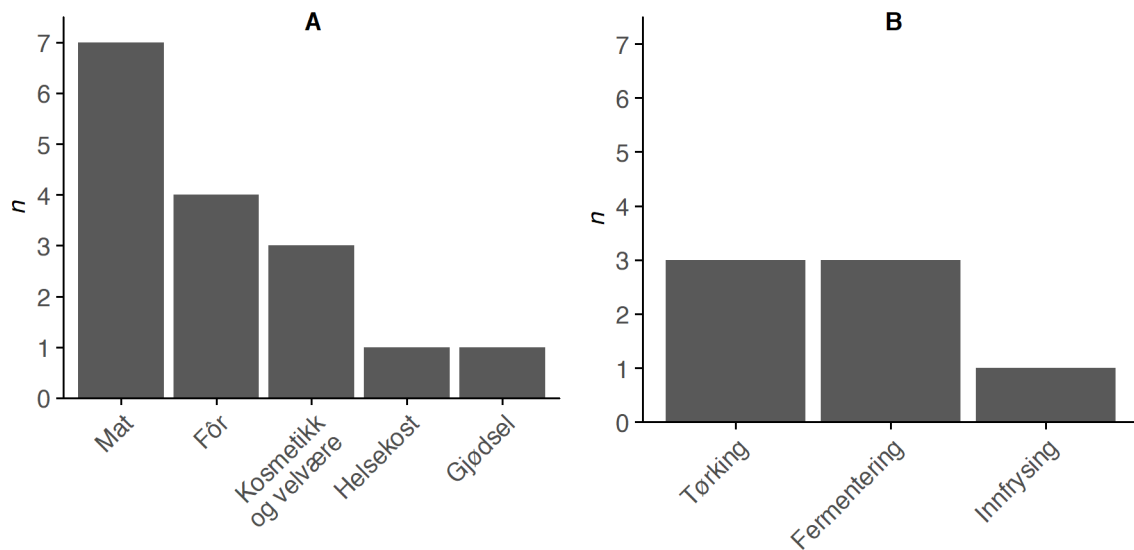


Fig. 4: (A) Markedene for dyrket makroalgebiomasse og (B) hoved stabiliseringsmetode for dyrket biomasse fra intervjurespondentene ($n = 7$).

Kosmetikk og velvære er identifisert som et lønnsomt marked for dyrket tare, særlig for utenlandske aktører. Begge respondentene fra utlandet omsetter en vesentlig del av sin produksjon i dette markedet. Tørket eller ferskt råstoff brukes i ulike produkter som f.eks. ansiktskrem eller i spabehandling (varme bad med tare). Blant de norske respondentene er det kun en produsent som omsetter en liten brøkdel av sin produksjon mot kosmetikkapplikasjoner.

Bærekraft og de miljømessige fordelene tilknyttet resursen er en viktig faktor for de industrielle brukernes interesse for makroalger som mat- og fôringrediens. Positive verdier fra denne resursen som f.eks. produksjon i sjø uten bruk av plantevernmidler og lokal tilhørighet (nasjonal eller europeisk produksjon som kan erstatte importerte råvarer) kan brukes under markedsføring av sluttproduktene. Samtidig anses biomassens totalutnyttelse som en viktig forutsetning for bærekraft i verdikjeden.

«Nå er det veldig sterkt fokus på bærekraft, dyrevelferd, artsmangfold osv. og jeg tenker at her kan man bruke dette til å bygge historien rundt tang og tare.»

«Vi har et ønske om å bruke det. Vi vet at det er en veldig bra ressurs og vi vet at bærekraftshistorien til tare er flott. Og så er det et europeisk råstoff som kanskje er mye mer interessant enn før, siden vi får en oppblomstring av lokale produksjoner som utnytter havareal [...] For at bærekraftshistorien skal være bra så vil vi også se at de andre komponentene i taren kan brukes. Vi må se på karbonavtrykk på en komponent i tare som brukes og hvis alt annet blir vasket i sjøen så er historien ikke så bra lenger.»

(industrielle brukere av makroalger)

Bruk av dyrkede makroalger i matapplikasjoner innebærer strenge krav til kvaliteten av råstoffet som skal brukes i sluttproduktene (**tabell 2**). Primært må makroalgeprodusentene dokumentere mattrygghet og forholde seg til grenseverdier for tungmetaller, jod og mikrobiologiske kriterier. I tillegg er en stor andel av de intervjuede dyrkerne økologisk sertifiserte. Dette innebærer krav tilknyttet behandling og foredling av råvaren (f.eks. skylling, pakking). Ytterligere krav kan pålegges av distributør og kunde i matbransjen om hvordan råstoffet behandles, men også om spesifikke kvalitetsaspekter. Produktets smak påpekes som kritisk for å skape positiv holdning hos konsumenten for makroalger som mat og for å bygge populariteten av asiatiske retter og dermed inkludere denne ressursen i hverdagskost.

«Det kan være så sunt og bærekraftig som det vil, hvis det ikke smaker knallgodt så lykkes det ikke [...] Vi må tilfredsstille og vise til god matkvalitet. Her må vi jobbe ganske mye i nærmeste framtid for å lage noen enda bedre spesifikasjoner. Slik gjør vi med absolutt alle råvarene vi tar inn. Vi har spesifikasjoner ift. farge, smak, næringsinnhold, grenseverdier på de relevante tungmetaller osv. og mikrobiologi.»
(industriell bruker av makroalger)

Industriell utnyttelse av makroalger som fôringrediens innebærer samme krav om mattrygghet som hos de som er pålagt matapplikasjoner. Likevel er fôrapplikasjoner beskrevet av flere dyrkere som noe mindre krevende når det gjelder forekomst av begroingsorganismer eller råstoffets fuktighetsinnhold. Ut fra fôrindustriens perspektiv kan tang og tare brukes i ulike sammenhenger. Som ernæringsmessig ingrediens vil fôrprodusenten kreve visse nivåer av proteiner og fett (**tabell 2**) som kan være begrensede hos dyrkede tarearter (sukkertare og butare) sammenlignet med andre fôrkilder (soya, restråstoff fra fisk, mikroalger). I tillegg ble tares relativt ufordøyelige karbohydratfraksjon nevnt som en ulempe i den sammenheng. Karbohydratfraksjon fra tare kan heller brukes i tekniske applikasjoner i et fôrprodukt som bindemiddel eller som funksjonell ingrediens med pre- og probiotiske effekter. I denne sammenheng anses dyrket tare, særlig fermentert råstoff, å være interessant for testing hos fôrprodusentene.

Ved spørsmålet om krav til volum svarte flere makroalgedyrkere at det foreløpig ikke etterspørres store volum i Norge og Europa siden markedet er under utvikling. «*Veldig lite etterspørsel etter tang og tare på det norske markedet*» ble det bekreftet av respondenten fra matbransjen. Likevel kom det frem at nasjonal produksjon må oppskaleres betydelig og at leveransen må være stabil dersom store aktører i mat- og/eller fôrindustrien skal ta i bruk norskdyrket makroalgebiomasse. En annen forutsetning er at råstoffet skal være prismessig konkurransedyktig for å være attraktiv som ingrediens i et større perspektiv enn dagens.

«Vi ønsker å tilgjengeliggjøre det for massemarkedet egentlig. Vi skal lage mye større volum enn det som finnes per i dag. [...] hvis vi skal putte inn noen få prosent i et typisk produkt hos oss så vil det kreve nesten hele årsvolumet som produseres i Norge per i dag. Så er det klart at hvis man virkelig skal tenke stort her og skal få til det volumet vi ønsker oss, så betyr det at vi må oppskalere ganske kraftig og få effektivitet i hele verdikjeden. Samtidig er det veldig viktig med prisbildet»
(industriell bruker av makroalger)

4.4. STABILISERINGSMETODER FOR MAKROALGEBIOMASSE

Under intervjuene, ble stabiliseringsprosessene i bruk hos de ulike aktørene undersøkt. **Fig. 4B** viser at de fleste av de intervjuede makroalgeprodusentene bruker tørking eller fermentering som hovedmetode for konservering av biomasse. 3 av 7 produsenter bruker eksklusivt en av de to metodene. Blant aktørene som rapporterte bruk av flere metoder (4 av 7), bruker de hovedsakelig både tørking og fermentering. Ved tørking brukes det lav temperatur (< 45 °C) og ulike systemer som konvektiv lufttørking, en kombinasjon av vifter med avfuktere, og frysetørking. For de fleste aktørene ble fermentering innført som en ny metode under uttesting for konservering av store volumer med tarebiomasse. To av dem har nylig begynt å bruke det som hovedkonserveringsmetode fremfor andre metoder. Ved fermentering tilsettes høstet biomasse en blanding av melkesyrebakterier for å senke pH under anaerobe forhold. Direkte bruk av syre var kun rapportert av en aktør. Det ble forsøkt å estimere hvor mye biomasse som ble behandlet ved de ulike metodene. Ut fra tallene oppgitt av 6 makroalgeprodusenter (fra både Norge og utlandet) som til sammen høstet 260 tonn sukkertare og butare i 2020, var 68 % av biomassen stabilisert ved fermentering mens tørking og innfrysing ble brukt for henholdsvis 16 % og 15 % av totalen. Det skal påpekes at det er store variasjon i mengde produsert blant utvalget av makroalgedyrkere (15 -150 tonn). Dette kan påvirke resultatet og gi en skjev fremstilling av metodene brukt i næringen generelt.

Til sammen har 6 av 7 aktører innen makroalgedyrking erfaring med fermenteringsprosessen i ulik grad (**tabell 3**). Generelt har aktørene fortsatt relativt lite praktiske bakgrunn når det kommer til den type prosess, men så langt har de positiv erfaring med det. Prosessen omtales som rask og effektiv for å stabilisere store mengder, den er tilpasset mekanisert håndtering av biomasse ved f.eks. ombord-prosessering, og gir redusert behov for manuelt arbeid. Kvalitet og holdbarhet av fermentert tare er imidlertid ikke godt dokumentert enda. Flere aktører (4 av 7) også har erfaring med tørking, men har delte meninger om denne prosessen. Noen synes de har god kapasitet for behandling av deres produksjon ved tørking og mulighet for god kvalitetskontroll under prosessen. Tørkingen gir et allsidig stabilt produkt med tanke på ulike bruksområder, med lang holdbarhet. Andre påpeker begrensninger ved bruk av tørkeprosessen for oppskalering av produksjon. Dette skyldes hovedsakelig høye krav til ressurser (energi, manuell håndtering) og behov for god kontroll under lagring for å unngå opptak av fuktighet. En av respondentene blant makroalgedyrkere bruker innfrysing som hovedmetode for konservering av biomassen på grunn av kvaliteten på

produktet som etterspørres av kundene. Ulempen med metoden er behovet for manuelt arbeid ved håndsortering og pakking (tilknyttet kvalitetskrav til produktet). Dette ble bekreftet fra en annen aktør som tidligere hadde brukt innfrysing som stabiliseringsmetode ved kommersiell tareproduksjon.

«Det å transportere taren til land og fryse den kostet oss opp i 15 kroner per kilo. Bare i den arbeidsbiten.»
(makroalgedyrker)

Andre prosesser tilknyttet stabilisering av dyrkede makroalger inkluderer kverning eller pulverisering etter tørking, hakking før fermentering, tørking av fermentert materiale og blanchering før innfrysing.

Intervjurespondentene ble spurt om deres behov for nye eller forbedrede tekniske løsninger for stabilisering av råstoff. Hovedandel av dyrkere savner effektive metoder for industriell tørking av makroalger (**tabell 3**). Mer spesifikke ønsker inkluderer tørking av fermentert råstoff og ombordtørking av fersk høstet biomasse.

«Det er jo mangel på gode tørkemuligheter lokalt.»

«Når det gjelder tørking så har vi ingen gode industrielle tørkemetoder.»

«Vi har behov for å kunne sentralisere tørkeprosessen.»
(makroalgedyrkere)

Noen aktører fra denne gruppen anser utvikling av effektive og lett anvendelige løsninger for fermentering av store biomassevolumer som nødvendig for å oppskalere produksjon. En annen utfordring identifisert under intervjuene er tilknyttet mekanisk kverning av butare, både i fersk og tørket form på grunn av den tøffe midribben. I tillegg inneholder flere tarearter mye jod, som kan være problematisk ved bruk av biomasse i mat- og fôrapplikasjoner. Behov for utvikling av løsninger for jodreduksjon ble derfor nevnt. Dette gjenspeilte uttalelsen fra den kommersielle aktøren innen matbransjen som understreker viktigheten av å ha *«kontrollerbare mengder [av jod] inn i matvarer som folk skal spise hver dag»* for å sikre at mattrygghet til bruker er ivarettatt samtidig som man utvikler smaks- og næringsrike matingredienser fra makroalger.

«Hvis vi vil redusere jod som er vannløselig så er det viktig at vi ikke vasker ut smakskomponentene og andre vannløselige komponenter vi ønsker [...]»
(industriell bruker av makroalger)

Respondentene fra gruppen bestående av teknologileverandører har ekspertise innen ulike tørketeknologier tilpasset industriell behandling av vått materiale med fokus på skånsom behandling av råstoffet, energibesparelse (gjenvinning av varme) og fleksibilitet (mobilt tørkeanlegg). Teknologileverandører som har erfaring med taretørking (2 av 3) påpeker forbehandlingen av biomasse ved oppkutting som kritisk for å oppnå jevn partikkelstørrelse og optimal tørking av råstoff (**tabell 3**).

Tabell 3: Reduserte data fra intervjuene om interessentenes stabiliseringsmetoder for tang- og tarebiomasse og deres behov for nye eller forbedrede prosesser. Setningene i fet skrift ble tatt opp av mer enn 50 % av intervjurespondentene i hver gruppe.

	Taredyrkere (n =7)	Teknologileverandører (n = 3)	Brukere (n =2)
<i>Hvilke stabiliseringsmetoder bruker de?</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Fermentering/ensilering (ved tilsetning av melkesyrebakterier eller syre) (6/7) - Tørking (4/7) - Innfrysing (1/7) 	<ul style="list-style-type: none"> - Tørking (3/3) ved bruk av ulike teknologier (beltetørking, disk-tørking, friksjonsmølle, overhetet damp tørking, roterende tørketrommel) 	
<i>Andre prosesser tilknyttet stabilisering</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Kverning etter tørking (2/7) - Hakking før fermentering (2/7) - Tørking etter fermentering (1/7) - Blanchering før innfrysing (1/7) 	<ul style="list-style-type: none"> - Oppkutting før tørking til optimal partikkelstørrelse (2/3) - Kverning/pulverisering etter ønsket produktform (1/3) 	
<i>Positiv (+) og negativ (-) erfaring fra ulike metoder</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Ved fermentering</i> (+) Raskt stabilisering, tilpasset bulk prosessering, lavt energibehov, krever ikke avansert utstyr (-) Kvalitet og holdbarhet er enda ikke godt dokumentert - <i>Ved tørking</i> (+) God kapasitet, oversiktlig for kvalitetskontroll, allsidig tørket produkt (-) Begrensning ved oppskalering, Ressurskrevende (manuelt arbeid, energi), lagring kan være en utfordring (fuktopptak) - <i>Ved innfrysing</i> (+) Gode tilbakemelding fra kunder (-) Ressurskrevende (håndsortering, pakking) 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Ved tørking</i> (+) God kvalitet på produktet ut fra pilottesting (-) Tørking kan være ujevn pga. heterogent råstoff (partikkelstørrelse) eller dårlig fluidisering under prosess 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Ved tørking</i> (+) God kvalitet på tørket produkt ut fra intern pilottesting
<i>Behov for nye eller forbedrede prosesser</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Industriell tørking (inkl. tørking av fermentert biomasse) (4/7) - Lett anvendelig fermenteringsmetode (2/7) - Kverning av fersk og tørket butare kan være en utfordring (2/7) - Pulverisering (1/7) - Prosess for jod reduksjon (1/7) - Effektiv pakking av stabilisert biomasse (1/7) 	<ul style="list-style-type: none"> - Kontroll på partikkelstørrelse (2/3) - Tilpasse prosess til ombordtørking (1/3) 	<ul style="list-style-type: none"> - Prosess for jodreduksjon av tare som opprettholder matkvalitet fra råvare (1/2) - Prosessen må være strømlinjeformet og tilpasset tørkeband (1/2)

4.5. SAMARBEID OG INTERESSE FOR ET PILOT MOTTAKSANLEGG

Det ble kartlagt hvilke typer samarbeid som ønskes av de ulike aktørene for å løse dagens utfordringer tilknyttet prosessering av biomasse mot aktuell produktutvikling. For de intervjuede makroalgeprodusentene var det viktigst med samarbeid om:

- Utstyrleverandør for tørking av råstoffet (3/7 av respondentene)
- Aktører (forskningsmiljø, bedrift) med kunnskap innen fermentering (2/7)
- Eksisterende og mulige fremtidige kunder for produktutvikling og optimalisering av prosess mot sluttprodukt (2/7)
- Andre makroalgedyrkere for å kunne håndtere større volum på en effektiv måte (2/7)

Respondentene fra mat- og fôrindustri anser samarbeid med biomasseprodusenter rettet mot produktutvikling som viktig (2/2). Begge aktørene har pågående samarbeid med et eller flere forskningsmiljø. Den ene nevner spesifikt samarbeid mellom industriaktører og forskningsmiljø som viktig for å «*løfte og få ut potensialet av tang og tare*». Leverandørene av tørketeknologi vil samarbeide med andre utstyrleverandører for å sette sammen optimale prosesser (3/3). En av de påpeker at dialog med biomasseprodusenter for å definere deres markeder er vesentlig for å utvikle målrettede prosesser og levere produkter av høy kvalitet til akseptable kostnader.

«Det som er en viktig forutsetning, er at man definerer hva slags produkt man ønsker ut i enden her. Altså i form av partikkelstørrelse og anvendelsesområder at det blir veldig målrettet hvor man ser at det er et økonomisk potensial i andre enden.»
(teknologileverandør)

Generelt var holdningene tilknyttet etablering av et mottaksanlegg for dyrkede makroalger veldig positive blant intervjurespondentene. Deling på investerings-, drifts- og infrastrukturkostnadene anses av biomasseprodusentene (5/7) som den største fordelene ved å delta i et slikt anlegg. Dette regnes som positivt for næringen generelt og særlig for mindre aktører som ikke har ressurser til å investere i prosesseringsutstyr og som vil kunne bruke anlegget for bearbeiding av sin produksjon. Dermed vil næringen «*kunne tilby større volum*» (makroalgedyrker) ut i markedet. En produsent foreslår at ved offentlig støtte for et slikt prosjekt vil det være attraktivt for flere aktører å investere ressurser for etablering av et slikt mottaksanlegg. En av de fremhever også at kompetansen på tvers av sektorer kan løse dagens utfordringer i makroalgenæringen. Imidlertid er det viktig at produktkvalitet er ivaretatt gjennom hele prosessen.

«Fordelene vil være å bringe inn kunnskap fra forskjellige sektorer til ett anlegg som kan løse visse problemer som man alene ikke ville løse»

«Det er viktig å sikre kvalitet. Vi har en del regler på hvordan biomasse skal fraktes, med tanke på temperatur lagringstid, [...] For oss vil det være viktig at det blir et like godt produkt som det vi produsere selv»
(makroalgedyrkere)

Selv om konseptet for et felles mottaksanlegg har skapt interesse blant makroalgedyrkere, påpeker flere respondenter (3/7) at transporttid er en kritisk faktor. Deres interesse vil være

avhengig av distanse mellom dyrkings- og mottaksanlegget og tekniske løsninger for mellomlagring som f.eks. kjøletransport eller fermentering.

«vi ser at hvis vi har mer enn, la oss si 2-timers transporttid av taren fra dyrkeplassen til prosesseringsanlegget, så går det for lang tid»

«Den eneste utfordringen er å klare å stabilisere det umiddelbart da den fortsatt er langt fra mottaksanlegg. Så da må du nesten gjøre det her ved dyrkingslokalitet. [...] det kan være en modell der du for eksempel leverer et slags oppsett [for fermentering] med store tanker eller containere her. Og så sender vi dit og da ble det skikkelig prosessert videre.»
(makroalgedyrkere)

Flere driftsmodeller for et mottaksanlegg ble foreslått som f.eks. et kooperativ (en lignende modell som f.eks. i vinindustrien i Sør-Europa) der dyrkere leverer deres produksjon og får tilbake et volum av bearbeidet produkt av en bestemt kvalitet. Alternativt kan et privateid selskap drive mottaksanlegget og leie ut utstyr til produsentene for prosessering av makroalger etter høsting. Sesongmessigheten av aktivitetene basert på dyrking og prosessering av makroalger påpekes av flere produsenter (2/7) som en utfordring for lønnsom drift av et slikt anlegg. Tilrettelegging for fermentering av større volum av makroalgebiomasse før videre bearbeiding er foreslått som et alternativ for å utvide sesongen. Bruk av mottaksanlegget kan også utvides til råstoff fra andre næringer utenfor sesongen som f.eks. råstoff fra landbruk, fiskeri og havbruk.

Leverandørene av tørketeknologi var enestående positiv til konseptet om et felles mottaksanlegg for makroalger der de vil kunne bidra til utvikling av utstyr og prosesser for den nye makroalgenæringen (3/3). De fremhever også behovet for inntjening på kort sikt for å finansiere prosessutvikling fra pilot til storskala.

Begge respondentene fra mat- og fôrindustri mener at et felles mottaksanlegg kan gi den nye næringen mulighet til å bygge opp volumet til de nivåene de ønsker for å ta i bruk råstoffet i deres respektive produksjonsprosesser (2/2). Som potensielle kjøpere av foredlet råstoff vil de ikke ha hovedrollen i anlegget, men heller sette kvalitetskrav og være en samarbeidspartner mot produktutvikling. En respondent nevner spesifikt at hele prosessen i et slikt anlegg må være mest mulig effektiv for å redusere kostnader for produsentene og garantere kjøperne en konkurransedyktig pris for makroalgeingredienser.

«det viktigste er at det skal bidra til at total effektivitet og prisen på sluttproduktet er mest mulig gunstig, at det ikke er noe ekstra ledd»
(industriell bruker av makroalger)

5. DISKUSJON

Gjennom semi-strukturerte intervju av kommersielle aktører ble det innsamlet viktig informasjon for å beskrive verdikjeden av dagens næring basert på dyrket makroalger, om aktuelle metoder for mottak og konservering av biomasse og krav til produkter. Informasjonen ble brukt for å kartlegge behov for industriell prosessering av makroalger samt interesse fra næringsaktører for etablering av et felles pilot-mottaksanlegg på Nordmøre.

5.1. VERDIKJEDE AV DAGENS MAKROALGENÆRING I NORGE

Utvalget av intervjuede makroalgedyrkere består av etablerte selskap med bakgrunn fra flere års kommersiell produksjon. Selv om industrialisering av makroalgedyrking har vært et satsingsområde i Norge det siste tiåret er den totale produserte biomassen fortsatt lav (178 tonn i 2018, **fig. 2**). Produksjonsdata etter sesongens høsting i 2020 oppgitt av norske aktører i utvalget (245 tonn fordelt på 5 aktører) tyder på en økning av den nasjonale produksjonen i år. Det kom frem i intervjuene av makroalgedyrkere at de fleste er involvert i flere ledd i verdikjeden fra utvikling av dyrkingsteknologi til produktutvikling og salg. Dette kan gjenspeile et lavt nivå av spesialisering i næringen. Norske private aktører har brukt mye ressurser på produksjonsutstyr (**fig. 5**) for blant annet stabilisering av høstet biomasse. Sentralisering av biomasseprosessering ved etablering av et felles mottaksanlegg for makroalgeprodusenter i et område kan bidra til en høyere grad av spesialisering ved ulike segmenter i verdikjeden. Dette vil føre til en mer effektiv bruk av økonomiske ressurser mot oppskalering av produksjon og håndtering av større volum på en effektiv måte.

Dyrket biomasse fra respondentene brukes hovedsakelig i mat- og fôrapplikasjoner til det europeiske markedet. Dette bekrefter at begge bruksområdene har et stort potensial for å skape verdi fra dyrkede makroalger (Stévant et al. 2017c). Biomassen kan brukes som helingrediens (f.eks. i tørket form) eller som ekstrakt som inneholder en eller flere bioaktive stoffer. Mens hovedandelen av produksjonene selges til industrielle aktører, brukes mindre volumer som matprodukter rettet til konsum (f.eks. tørket råstoff som krydder), ofte utviklet internt i selskapene. I motsetning til store deler av Asia har ikke makroalger vært en viktig del av kostholdet i norske og vestlige samfunn. Denne ressursen får nå økende oppmerksomhet fra både konsumenter og matindustri på grunn av en økende etterspørsel etter sunne og naturlige matvarer som kan produseres på en bærekraftig måte. Dialog med store aktører innen mat- og fôrbransjen viser at den nasjonale produksjonen må oppskaleres for at dyrkede makroalger skal bli hverdagskost og en vanlig fôringrediens i husdyr- eller havbruksproduksjon. Stabil leveranse, høy kvalitet og gunstig pris er viktige faktorer for å realisere dette potensialet.

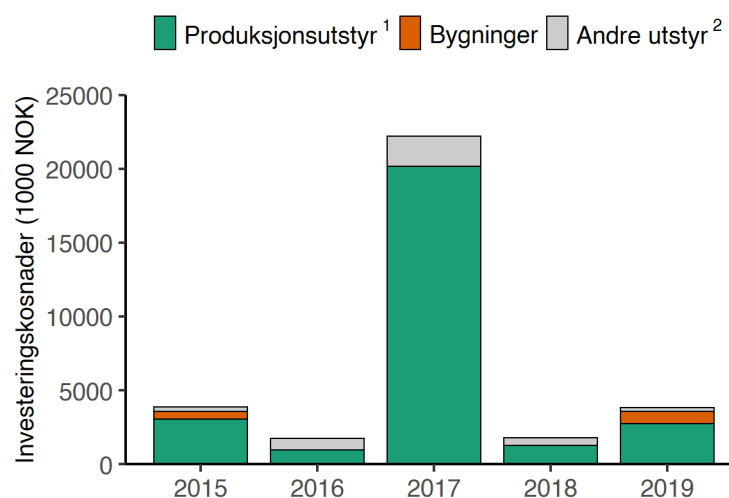


Fig. 5: Investeringskostnader fra innehavere av akvakulturtillateser for makroalger. Data fra Fiskeridirektoratet (2020b). ¹ Utstyr tilknyttet biomasseproduksjon (dyrking, prosessering), ² ikke direkte tilknyttet biomasseproduksjon som f.eks. transportmidler.

Begge bruksområdene (mat og fôr) for dyrket biomasse innebærer formelle krav til mattrygghet. Selv om makroalger generelt betraktes som sunt, kan de også akkumulere giftige stoffer med potensielle negative helseeffekter. Regelverket er i ferd med å utvikles ettersom helserisikoer er under utredning. Makroalgeprodusentene må forholde seg til mikrobiologiske kriterier samt grenseverdier for tungmetaller, uorganisk arsen og jod. Sistnevnte er et viktig stoff for kroppen, men man kan få i seg for mye ved hyppig spising av tare (særlig sukkertare) på grunn av veldig høyt innhold sammenlignet med andre matvarer (Stévant et al., 2017a). Det er derfor viktig å etablere optimale produksjons- og behandlingsmetoder som minimere risiko tilknyttet potensielle helsefarlige stoffer og unngå mikrobielle kontaminering for å levere trygge produkter til markedet.

Andre krav for kommersiell suksess av matprodukter basert på naturlige råvarer inkluderer smak, næringsverdi, farge, tekstur, sporbarhet og etiske krav knyttet til verdiene som påvirker forbrukeradferd (Peri 2006). Tross den økende konsumentaksepten for makroalger som mat (Marfaing 2017) er slike produkter fortsatt tilknyttet nisjemarkeder. Ubevissthet fra konsumenter og skepsis mot nye matvarer er for tiden faktorer som begrenser etterspørselen etter produktene (Birch et al. 2019). Kommunikasjon mot forbruker om potensialet for makroalger som mat og utvikling av høykvalitetsprodukter tilpasset norske og europeiske markeder er avgjørende for en bredere utnyttelse av denne ressursen i matsektoren. Respondentene fra matsektor fremhevet behovet for å skape gode smaksopplevelser og utnytte positive trender for naturlige råvarer for å øke forbrukerens interesse for makroalger som mat. I denne sammenhengen vil det være viktig å avdekke effekter av relevante prosesserings- og lagringsmetoder på produktenes smak (Stévant et al. 2018b; Sánchez-García et al. 2019; Stévant et al. 2020) og utvikle smaksrike ingredienser fra makroalger.

Nye forskningsresultater viser at ingrediens fra tare (f.eks. sukkertare) kan inkluderes i begrenset mengde i fôrformuleringer mot fisk og husdyr uten negative effekter på vekst og fysiologisk tilstand (Granby et al. 2020). Likevel er næringsverdien ganske lav på grunn av lavt proteinnivå og lav fordøyelighet (Øverland et al. 2019; Ramin et al. 2019; Bikker et al. 2020) samt at saltnivåer kan være for høye (Özkan Gülzari et al. 2019). Et større verdiskapingspotensial som fôringrediens er knyttet til det brede spekteret av bioaktive stoffer som makroalger inneholder som for eksempel komplekse polysakkarider (f.eks. fucoïdan og alginat), peptider, polyfenoler og pigmenter med funksjonelle egenskaper (antioksidant, immunstimulering, prebiotisk) (Holdt and Kraan 2011; Øverland et al. 2019). En utfordring i dette aspektet er at produksjon av en fiskefôringrediens (proteinkonsentrat) fra makroalger med dagens teknologi har større miljøpåvirkning (miljøytelse, CO₂ utslipp) enn produksjon av lignende produkter fra soya (Philis et al. 2018; Halfdanarson et al. 2019). Kostnader tilknyttet et slikt produkt er også for høy med dagens produksjonsnivå til å kunne være konkurransedyktig i fiskefôrmarkedet (Emblemsvåg et al. 2020). Dette peker på behovet for videre forskning og utvikling for effektivisering i verdikjeden, spesielt ved stabilisering av høstet råstoff og videreforedling av biomasse til flere høyverdige produkter.

Kosmetikk også er et viktig høyverdig marked i Europa for makroalgeråstoff som brukes i flere produkter som ansiktskremer, såper og spabehandling med ulike funksjoner (teksturmiddel, emulgator, bioaktive ekstrakt, fargestoff) (Barbier et al. 2020). Resultat fra intervjuene tyder på at norske biomasseprodusenter har liten tilknytning til dette markedet. Et slikt marked kunne bidratt med å løfte næringen som i andre europeiske land (Mesnildrey et al. 2012). Helsekostprodukter utgjør også et høyverdig marked for makroalgeråstoff (Barbier et al. 2020), men heller ikke her er norske aktører særlig aktive. Etablering av målrettede strategier mot høyt betalende markeder kan skape mer verdi fra norsk produsert makroalgebiomasse.

Mekanisering av biomasseproduksjon (sporeproduksjon, utsetting av kimplanter i sjøen, høsting) vil føre til større utbytter og muliggjøre dyrking av større volum. Effektive stabiliseringsmetoder for håndtering av større volum av høstet biomasse vil sikre tilgang til råstoff hele året og støtte utvikling av bioøkonomien basert på dyrkede makroalger.

5.2. AKTUELLE STABILISERINGSMETODER

I dette prosjektet ble det kartlagt hvilke stabiliseringsprosesser som brukes i dag i makroalgenæringen. Målet er å identifisere viktige prosesser som bør prioriteres i et pilot-mottaksanlegg. Mens tørking var en fortrukket metode for konservering av dyrket makroalger for noen år siden (Stévant et al. 2015), fremhever resultat fra intervjuene den økende betydning av fermentering som et effektivt alternativ. Dette gjenspeiler den økende interessen fra næringen for utvikling av fermenteringsteknikker fra landbrukssektoren tilpasset makroalgeråstoff for håndtering av kommersiell produksjon. Fermenterte produkter fra respondentene brukes som mat- eller fôringrediens.

Protokoller basert på inokulering av biomassen med MSB har blitt utviklet og testet for ulike makroalgearter. Rask senking av pH er oppnådd ved tilsetning av terrestriske MSB til sukkertare i anaerobe forhold (Herrmann et al. 2015; Cabrita et al. 2017; Stévant 2019; Campbell et al. 2020). Biomassen kan også konserveres med direkte bruk av syre (Sandbakken et al. 2018), men dette innebærer større krav til helse, miljø og sikkerhet på grunn av at man må håndtere syre i en industriell prosess.

Hovedfordelene med fermentering dreier seg hovedsakelig om lavt behov for avansert utstyr og energi under prosessen sammenlignet med tørking. Prosessen er rask og kan lett tilpasses et mekanisert oppsett i kombinasjon med høsting og ombord-behandling av biomassen. Dette gir gode perspektiver for implementering av fermenteringsmetoder i industriell makroalgedyrking spesielt i sammenheng med høsting av hele produksjon i et kort tidsvindu (pga. begroing). Imidlertid finnes det enda lite dokumentasjon på kvalitet og holdbarhet av fermentert råstoff. Bruk av fermenterbare sukkerarter (inkl. mannitol) og produksjon av syre samt dannelse av en væskefraksjon (mellom 20 og 30 % av biomassen; Stévant et al. 2019) tyder på betydelige endringer under prosessen. Dette kan ha positive effekter på råstoffkvalitet som mat- og føringrediens f.eks. ved nedbryting av alginat (Moen et al. 1997) og mulige prebiotiske egenskaper av påfølgende produkter (oligoalginat) (O'Sullivan et al. 2010), produksjon av smakskomponenter ved ulike biokjemiske reaksjoner som kan gi karakteristiske smaksprofiler (Stévant et al. 2020), og probiotisk funksjon av den fermenterte ingrediensen. Det er også viktig å avdekke hvordan prosessen påvirker potensielle giftige stoffer (f.eks. jod) og vurdere risiko tilknyttet mulig forekomst av prosessfremkalte stoffer (Mattilsynet 2019). Fermentering kan fungere både som en stabiliseringsmetode for mellomlagring av biomasse som skal videreføres, og som et eget prosesseringstrinn der man oppnår ønskede egenskaper fra råstoffet. Anvendt kunnskap om mikrobiologi, matvitenskap og prosess teknologi er nødvendig for å utvikle målrettede fermenteringsprosesser for fremstilling av trygge produkter med høy kvalitet til forbrukere.

Tørking er en veldig utbredt stabiliseringsmetode blant makroalgeprodusentene. Tørket råstoff lagret under tilstrekkelige forhold har lang holdbarhet og mange bruksområder. Tørking ved lav temperatur (< 45 °C) foretrekkes for å ivareta bioaktive stoffer (Moreira et al. 2016; Badmus et al. 2019) og unngå produktkrymping (Stévant et al. 2018b) under prosessen. Respondentene rapporterer bruk av ulike tørkemetoder (konvektiv lufttørking, avfukter og frysetørking). Høyt energiforbruk og behov for manuell håndtering ble påpekt gjentatte ganger som store ulemper for oppskalering av produksjonen ved bruk av tørking. Konvensjonelle tørkesystemer som er i bruk i makroalgenæringen utgjør den største miljøpåvirkningen i alle ledd og reduserer dermed bærekraften i hele verdikjeden (Philis et al. 2018; Halfdanarson et al. 2019). Energikostnadene for stabilisering av sukkertare ved bruk av slike systemer (konvektiv lufttørking på 40 °C i et kammer) ble beregnet ut fra eksperimentelle data (Stévant et al. 2018b) og ble estimert til 7270 kWh per tonn tørt produkt (med 10 % fuktighet) som tilsvarer en kostnad på 2908 NOK⁴ (Stévant et al. 2019). Høy pris for makroalgeingredienser vil begrense produktattraktivitet mot kommersielle

⁴ Basert på 0.4 NOK kWh⁻¹ som er gjennomsnittlige energikostnader for norsk industri.

brukere. Alternativ teknologi for skånsom behandling av råstoff (f.eks. indirekte tørking, tørking med overhett damp) kombinert med tekniske løsninger for gjenvinning av energi kan øke effektivitet i prosessen (Mujumdar 2014; Stévant et al. 2019). Bruk av overskuddsvarme fra industrielle prosesser som energikilde er også foreslått som et mer miljøvennlig og bærekraftig alternativ for prosessering av store volum av makroalgebiomasse (Philis et al. 2018). Det er et stort behov blant makroalgeprodusentene for effektive tørkesystemer for behandling av både fersk biomasse etter høsting, men også for fermentert makroalger. Slike systemer medfører også store investeringskostnader. Derfor vil utvikling av tilstrekkelig tørkekapasitet i et sentralisert felles mottaksanlegg være gunstig for flere aktører.

Innfrysing er en annen metode for konservering av makroalger som gir høy kvalitet på produktet som deretter kan videreføres. Imidlertid er denne metoden ofte assosiert med manuell håndtering i forbindelse med sortering og pakking av råstoff i mindre enheter for optimal innfrysing. Krav om areal og energi for fryselagring kan også være utfordrende. Innfrysing og lagring ved $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ i ca. 10 måneder utgjør et energibehov på 161 kWh per tonn (våt biomasse) som tilsvarer 64 NOK per tonn (Stévant et al. 2018a). Dette vil gi utslag på pris for sluttproduktet. Tining av frossen sukkertarebiomasse medfører betydelige drypptap (opptil 40 % av biomasse) (Stévant et al. 2018a). Videre prosessering av frossen biomasse må derfor tilpasses for total råstoffutnyttelse og utvinning av bioaktive stoffer fra både fast- og væskefraksjonen.

For å ivareta kvalitet etter høsting må makroalgebiomassen stabiliseres så fort som mulig og helst i løpet av noen få timer. Mellomlagring ved bruk av nedkjølt sjøvann («refrigerated seawater», RSW) med temperatur nær $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ kan forlenge holdbarhet av ferskt råstoff med relativt lave energikostnader (Stévant et al. 2018a). I denne sammenhengen er teknisk design kritisk for å oppnå tilstrekkelig gjennomstrømming for homogen nedkjøling av biomassen. Både innfrysing og RSW-systemer er utbredt ved ombord-lagring av fisk og kan tilpasses behandling av store volum med dyrket makroalger.

Ytterligere prosesseringstrinn kan være nødvendige for å imøtekomme markedskrav for enkelte produkter som f.eks. varmebehandling (inkl. blanchering) for jodreduksjon i sukkertare (Stévant et al. 2017a; Nielsen et al. 2020). Spesifikke krav om produktform eller sensoriske egenskaper (smak, farge og tekstur) kan komme fra kjøper. Dette kan medføre ekstra trinn i prosessen (f.eks. kverning eller pulverisering) og assosierte kostnader, eller utelukke metoder som ikke tilfredsstiller produktkravene. Optimale prosesseringsstrategier må utvikles for hver makroalgeart og -produkt med tanke på kvalitetskrav for sluttprodukt, innkjøpspris for makroalgeingredienser fra kommersielle aktører og kostnader tilknyttet de enkelte prosessstrinnene (energi, andre tilknyttede kostnader). I tillegg vil effektive stabiliseringsmetoder gi mulighet til å forlenge tidsrommet for produksjon av dyrkede makroalger utenfor høstesesongen. Helårsproduksjon er en viktig forutsetning for å skape lønnsomhet i den nye næringen.

5.3. VIKTIGE FAKTORER FOR ETABLERING AV ET FELLES MOTTAKSANLEGG PÅ NORDMØRE

Et felles pilot-mottaksanlegg kan bidra til utvikling av den norske bioøkonomien basert på dyrkede makroalger ved å løse utfordringene knyttet til prosessering. Selv om detaljene for konseptet ennå ikke er definerte, vekket det interesse hos intervjurespondentene fra alle grupper (makroalgedyrkere, teknologileverandører og kommersielle brukere). Deling av kunnskap (særlig på tvers av sektorer) samt delte investerings- og driftskostnader ved etablering av et felles mottaksanlegg vil gi muligheter for flere aktører til å bearbeide sin produksjon på en effektiv måte. Dette vil bidra til å øke kapasiteten for produksjon av større volum av makroalgebiomasse i regionen.

Synergi med andre interessenter i verdikjeden vil være avgjørende for å lykkes med et slikt anlegg. Et tett samarbeid mellom makroalgedyrkere, utstyrleverandører og industrielle kjøpere av makroalgeingredienser vil være nødvendig for å definere videre behovet for stabilisering og prosessering av råstoffet. Dette samarbeidet vil også være viktig for å bestemme krav til kvalitet på aktuelle produkter fra ulike segmenter og utvikling av målrettede prosesser for å oppnå høy produktkvalitet. Resultat fra tidligere utredning viser at investeringskostnader er den største begrensningen for realisering av et felles anlegg for behandling av marine råstoff (kapittel 1.2). Etablering av effektive organisasjons- og driftsmodeller forutsettes for å definere interessentenes medvirkning i utvikling av et felles pilot-mottaksanlegg for makroalger. Eierskapsmodeller som kooperativ eller aksjonærselskap kunne være aktuelle å vurdere for en slik struktur. Offentlig støtte kan også avlaste noe av det økonomiske ansvaret i etableringsfasen, tiltrekke flere private interessenter og stimulere forskning og innovasjon.

Det er også viktig å definere hvilke roller et felles pilotanlegg skal ha i verdikjeden på kort og lang sikt. Mens et pilotanlegg vil gi makroalgeprodusentene mulighet for uttesting av ulike prosesser og teknologi i samarbeid med utstyrleverandører og FoU-miljøer, et det også et stort behov for tekniske løsninger for storskala behandling av dyrket biomasse. Å gi mulighet for mottak og prosessering av store volum vil være attraktivt for makroalgedyrkere, men også for utstyrleverandører som vil kunne bidra med teknologiutvikling fra pilot- til storskala.

Et mottak for fersk biomasse vil også kun være attraktivt for aktører lokaliserte i nærområdet dvs. noen få timer i transporttid fra dyrkingssted til mottaksanlegg. Et bredere tilbud som inkluderer tekniske og logistiske løsninger for rask stabilisering (f.eks. ved fermentering eller frysing) på produksjonsstedet og transport til anlegget kan benyttes av flere makroalgeprodusenter i et større geografisk område. Effektive løsning for mellomlagring av høstet biomasse vil gi mulighet for videreprosessering utenfor høstesesongen. Dette vil åpne for helårs drift og økt verdiskaping fra dyrkede makroalger. Dersom det ikke er behov på kort sikt eller det ikke mottas nok biomasse for prosessering av dyrkede makroalger hele året, vil det være en stor fordel å tilrettelegge for kontinuerlig drift av anlegget ved bruk av aktører fra andre sektorer som f.eks. mottak og videreforedling av villhøstet makroalger (stortare, grisetang) eller råstoff fra fiskeri-, havbruk- og landsbruksæring. Et felles mottaksanlegg kan fungere som et nasjonal senter for teknologi- og

kompetanseutvikling innen foredling av makroalger. Det kan også være involvert i markedsføring og salg av foredlet produkt fra makroalger som ved fiskemottak og landbrukskooperativer. Slike funksjoner for et mottaksanlegg vil gagne flere aktører og støtte næringsutvikling langs kysten.

Nordmøre ble foreslått som en attraktiv region for etablering av et felles pilot-mottaksanlegg basert på regionens tradisjon innen fiskeri, havbruk og foredling av marine ressurser. I tillegg har regionen omfattende kompetanse innen olje og gass, samt marin sektor som kan overføres til makroalgenæringen (f.eks. ved biomasseproduksjon til havs). Per dags dato (10.11.2020) finnes det 103 lokaliteter (land- og sjøbaserte) for dyrking av makroalger i Norge (Fiskeridirektoratet 2020a). Nye aktører etablerer seg stadig og flere konsesjoner tildeles. Lokalitetene er ikke jevnt fordelt langs norskekysten og hovedtyngden av makroalgedyrking befinner seg på Vestlandet i sør, i Lofoten og midtre delen av Nordland i Nord, og i Møre og Romsdal samt sørlig delen av Trøndelag (fig. 1). Nordmøre er sentralt plassert og etablering av et felles mottaksanlegg her vil kunne benyttes av makroalgeprodusentene i nærområdet samt andre aktører lokaliserte lenger sør (Romsdal og Sunnmøre) og nord (Sør-Trøndelag) (fig. 6). Dersom det tilrettelegges for bearbeiding av stabilisert biomasse kan anlegget også benyttes av flere aktører på nasjonalt nivå.

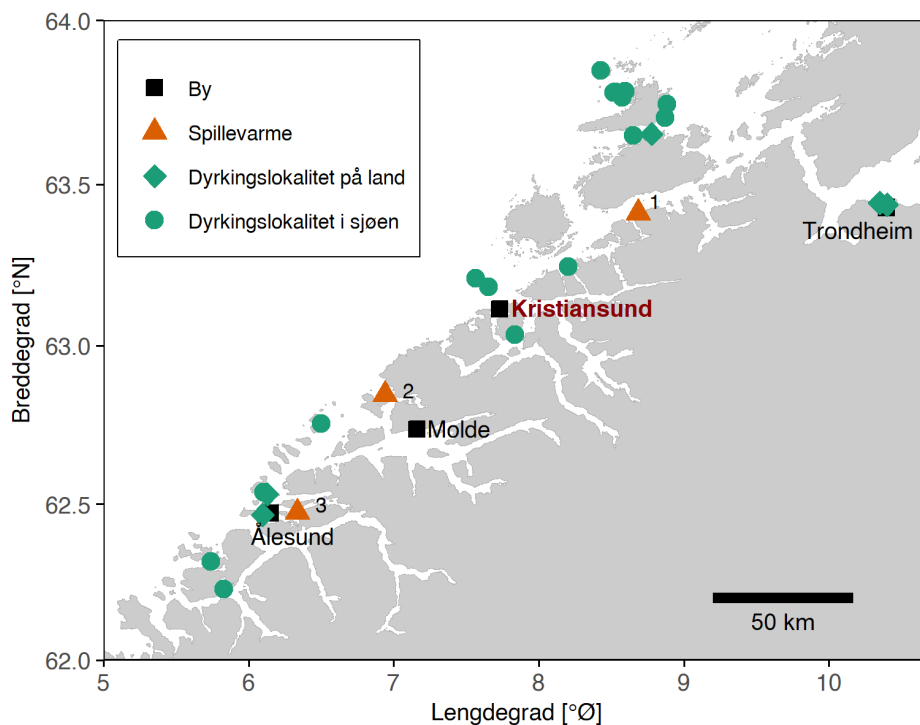


Fig. 6: Relevant infrastruktur og industriaktører i region midt (Møre og Romsdal og sørlige del av Trøndelag) inkludert Nordmøre (Kristiansund og omegn). ¹ Gassterminal og metanolfabrikken på Tjeldbergodden (Equinor ASA), ² Gas prosessanlegg på Nyhamna (Norsk Shell AS), ³ Forbrenningsanlegg på Grautneset (Tafjord Kraftvarme AS).

Utnyttelse av energiressursene fra industrielle prosesser i Møre og Romsdal har vært et sentralt tema i det siste tiåret. Konsepter for bruk av spillevarme fra gassanlegget på Nyhamna i Romsdalen eller forbrenningsanlegget på Grautneset i Sunnmøre, som energikilder for henholdsvis landbasert fiskeoppdrett (Evjemo et al. 2019) og tørking av makroalger (Stévant et al. 2015) har blitt foreslått. Det er også tilgang til spillevarme på Nordmøre fra gassterminal og metanolfabrikken på Tjeldbergodden (Aure kommune, **fig. 6**). Det er tilrettelagt for industriell bruk av energi fra fabrikken (1.6 TWh per år) ved det tilstøtende industriområdet (<https://www.tbu.no/bioparken/>). En del av det brukes i kommersiell landbasert havbruk (smolt, berggylt, rognkjeks) per i dag.

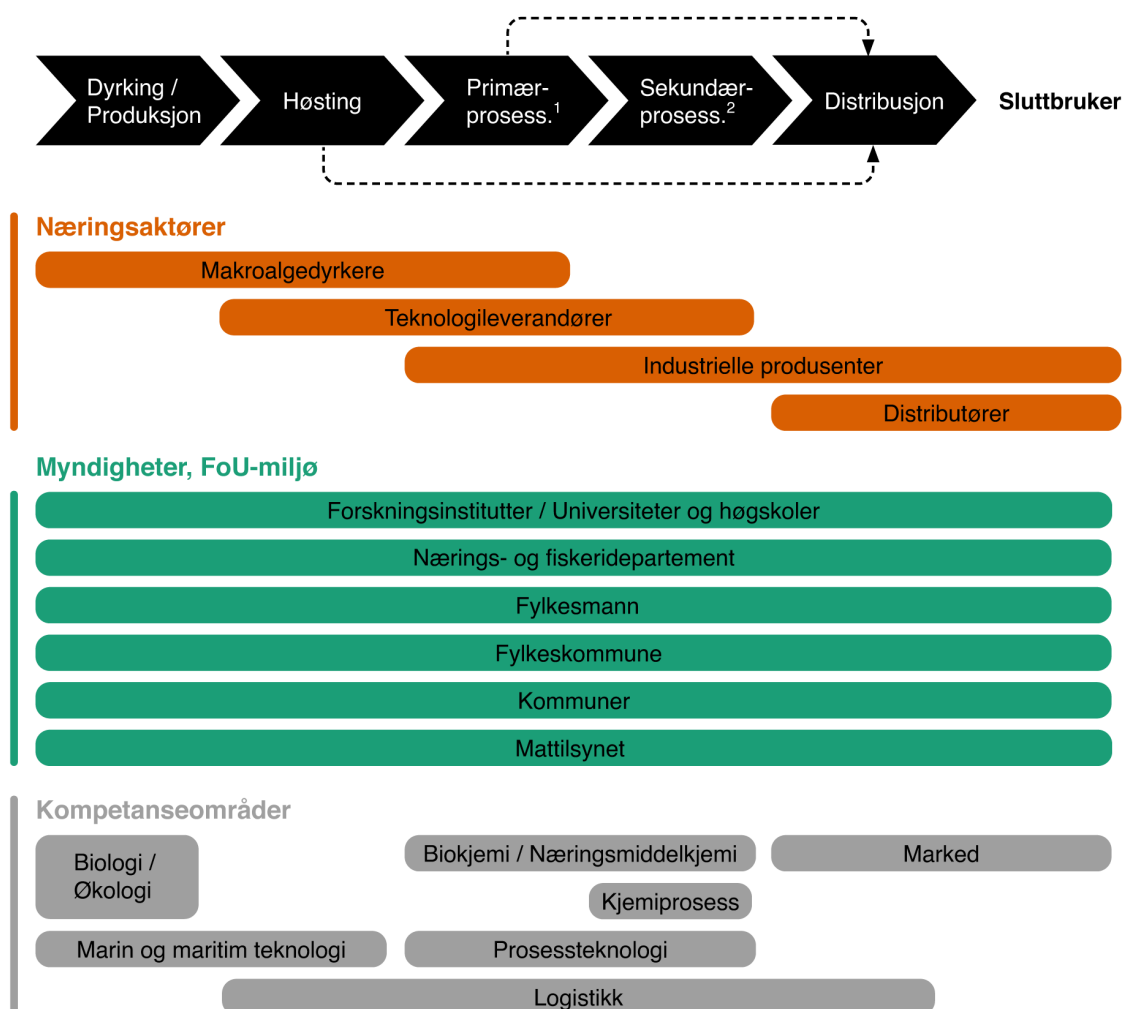


Fig. 7: Verdikjedekart for makroalgenæringen basert på dyrket biomasse med oversikt over interessenter og kompetanseområder i ulike segmenter. ¹ forbehandling og stabiliseringsprosesser, ² videreprosessering som f.eks. fraksjonering, ekstraksjon.

Beliggenhet vil være en kritisk faktor i vurdering av etablering av et mottaksanlegg for makroalger på Nordmøre med innvirkning på logistikk og transport av dyrket biomasse til anlegget. I denne sammenheng vil plassering i ytre strøk på Nordmøre (Smøla, Aure, Kristiansund, Averøy) være fordelaktig for flest mulige involverte aktører. Andre faktorer som tilgjengelig areal, tilgang til dyphavskai (for sjøtransport av biomasse) samt lokal tilrettelegging for etablering av virksomhet (f.eks. fra kommune, fylkeskommune) bør vurderes i prosessen.

I tillegg til anleggets funksjon og roller i verdikjeden er det også viktig å identifisere interessentene fra næringslivet, myndigheter og FoU-miljøer som ønsker å være involvert i et felles pilotmottaksanlegg for makroalger samt deres kompetanseområder og rolle i virksomheten (**fig. 7**). Et tidligere forsøk for etablering av et tørkeanlegg for makroalgebiomasse i Møre og Romsdal (kapittel 1.2) viser at det er store krav til investering, men også behov for ledelse og organisasjon for utvikling og drift av en felles plattform for prosessering av råstoff. Dagens nasjonale produksjon og verdiskaping basert på dyrkede makroalger er foreløpig lav, noe som begrenser denne utviklingen. Offentlig støtte fra myndighetene for etablering og utvikling av et felles pilotmottaksanlegg for makroalger, samt potensielle tilknyttede forskningsaktiviteter vil stimulere engasjement hos private næringsaktører langs verdikjeden. Dette støtter den regionale strategien for verdiskaping basert på marine råvarer og styrker regionens posisjon innen marin og maritim industri. På sikt vil et felles anlegg tilrettelegge for næringsutvikling og etablering av nye arbeidsplasser langs kysten.

6. KONKLUSJONER OG ANBEFALING FOR VIDERE ARBEID

Ut fra intervjuer av relevante næringsaktører (makroalgedyrkere, teknologileverandører og industrielle kjøpere av biomasse) ble det innsamlet informasjon om dagens makroalgenæring fra produksjon til marked. Det ble kartlagt aktuelle metoder for mottak og konservering av biomasse, samt interesse fra næringsaktører i ulike ledd i verdikjeden for etablering av et **felles pilot-mottaksanlegg på Nordmøre**.

- Mottak, konservering og videreprosessering av makroalgeråstoff er tilknyttet høye investeringskostnader. Et felles anlegg vil gi aktørene mulighet til å **dele kostnader** og dermed senke den økonomiske terskelen for å etablere effektive løsninger for bearbeiding av store volum med høstet biomasse. Et slikt anlegg vil også føre til en høyere grad av **spesialisering** i den nye næringen og mer effektiv bruk av økonomiske ressurser for oppskalering av produksjonen.
- Interessentenes medvirkning i anlegget må defineres. En varig og robust **organisasjons- og driftsmodell** må også etableres for å realisere konseptet for et lønnsomt, effektivt og skalerbart mottaksanlegg.
- **Offentlig støtte** vil stimulere engasjement hos private aktører og potensielle investorer. Dette vil bistå den nye næringen inn mot industrialisering av biomasseproduksjon for **helårs foredling og verdiskaping fra makroalger**.
- FoU-aktiviteter vil bidra med innovasjon for utvikling av nye metoder og prosessoppskalering. Tett samarbeid med relevante forskningsmiljøer vil stimulere **kunnskapsutvikling og -overføring** langs innovasjonsprosessen.
- Anleggets **rolle i verdikjeden** fra mottak av biomasse til salg av produkter må defineres. I tillegg til mottak av ferskt råstoff lokalt og pilottesting av utstyr og prosesser, vil **tekniske og logistiske løsninger for stabilisering og transport fra dyrkingssted** for storskala prosessering øke relevans og attraktivitet av et felles anlegg for industrielle aktører langs verdikjeden.
- **Nordmøre** har omfattende kompetanse innen fiskeri, havbruk, olje og gass som kan overføres til den nye næringen basert på dyrket makroalger. I tillegg er regionen sentralt plassert i forhold til kommersielle dyrkingslokalitetene i Midt Norge (Møre & Romsdal og sørlig del av Trøndelag) og på nasjonalt nivå. Dette gir gode forutsetninger for etablering av et felles pilot-mottaksanlegg på Nordmøre.
- **Mat** fremstår som hovedmarkedet for norskdyrkede makroalger med gode muligheter for fremtidig verdiskaping. Samtidig er makroalger til mat ofte tilknyttet nisjeprodukter med begrenset distribusjon. Store industrielle aktører innen matbransjen viser økende interesse for denne bærekraftige ressursen med ønske om å inkludere makroalger som en del av hverdagskosten. Produksjonen må oppskaleres betraktelig for å nå dette målet. I tillegg etterspørres det mer kunnskap om hvordan ulike prosesser påvirker kvaliteten av makroalgeingredienser med spesielt fokus på **mattrygghet** og produktenes **sensoriske**

egenskaper (smak, lukt og tekstur). Dette vil bidra til utvikling av målrettede prosesser for å levere produkter av høy kvalitet.

- Det er et stort potensial for verdiskaping i andre markeder/bruksområder som **kosttilskudd**, ingrediens til **dyrefôr** eller **kosmetikkprodukter**. Optimale prosesser må utvikles for hver makroalgeart og -produkt basert på kvalitetskrav, prosesskostnader og innkjøpspris fra kommersielle aktører.
- **Fermentering** fremstår som en effektiv metode for konservering av store volumer av makroalgebiomasse med lavt energibehov. Fermentert biomasse kan videreføres utenfor høstesesongen. Imidlertid er det et behov for mer kunnskap om produktkvalitet og holdbarhet fra fermenteringsprosesser.
- Utvikling av **effektive tørkemetoder** med et lavere energibehov enn konvensjonelle metoder som brukes i dag vil være svært relevant i et felles mottaksanlegg. Nye metoder basert på alternative teknologier må kunne håndtere store mengder av enten ferskt eller stabilisert (fermentert, frosset) råstoff på en skånsom måte (f.eks. lav temperatur, unngå oksidasjon). Det er tilgang til **spillevarme** på Nordmøre og generelt i Møre og Romsdal. Denne sekundære energikilden kan brukes til storskala prosessering av makroalger og bidra til bedre lønnsomhet og økt bærekraft under produksjon.

Etablering av et felles pilot-mottaksanlegg vil bidra med å løse store utfordringer tilknyttet prosessering av dyrket makroalgebiomasse. Fremtidig vekst i den nye næringen er avhengig av tekniske innovasjoner for å oppskalere produksjonen, redusere prosesseringskostnadene, utvikle standarder for eksisterende produkter og produksjonsmetoder samt utvide og diversifisere markeder for produkter fra makroalger. Samtidig må volumet for produksjon av biomasse i sjøen økes. Dette innebærer helhetlig kystsonesplanlegging som inkluderer makroalgedyrking, teknologiutvikling for mekanisering av produksjonen (utsetting, høsting, prosessering) samt dyrking til havs og miljøkonsekvensutredning for storskala produksjon av makroalger for bærekraftig næringsutvikling.

REFERANSER

- Alexander KA, Angel D, Freeman S, Israel D, Johansen J, Kletou D, Meland M, Pecorino D, Rebours C, Rousou M, Shorten M, Potts T (2016) Improving sustainability of aquaculture in Europe: Stakeholder dialogues on Integrated Multi-trophic Aquaculture (IMTA). *Environmental Science & Policy*, 55:96-106.
- Badmus UO, Taggart MA, Boyd KG (2019) The effect of different drying methods on certain nutritionally important chemical constituents in edible brown seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 31: 3883–3897.
- Barbier M, Araújo R, Rebours C, Jacquemin B, Holdt SL, Charrier B (2020) Development and objectives of the PHYCOMORPH European Guidelines for the Sustainable Aquaculture of Seaweeds (PEGASUS). *Botanica Marina*, 63(1):5.
- Bikker P, Stokvis L, van Krimpen MM, van Wikselaar PG, Cone JW (2020) Evaluation of seaweeds from marine waters in Northwestern Europe for application in animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 263:114460.
- Birch D, Skallerud K, Paul N (2019) Who Eats Seaweed? An Australian Perspective. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 31(4):329-351.
- Broch OJ, Alver MO, Bekkby T, Gundersen H, Forbord S, Handå A, Skjeremo J, Hancke K (2019) The Kelp Cultivation Potential in Coastal and Offshore Regions of Norway. *Frontiers in Marine Science* 5 (529).
- Broch OJ, Skjeremo J, Handå A (2016) Potensialet for storskala dyrking av makroalger i Møre og Romsdal. SINTEF rapport, nummer A27869, <https://www.sintef.no/en/publications/publication/?pubid=CRISIn+1426005>
- Bruhn A, Dahl J, Nielsen HB, Nikolaisen L, Rasmussen MB, Markager S, Olesen B, Arias C, Jensen PD (2011) Bioenergy potential of *Ulva lactuca*: biomass yield, methane production and combustion. *Bioresource Technology*, 102 (3):2595-2604.
- Cabrita ARJ, Maia MRG, Sousa-Pinto I, Fonseca AJM (2017) Ensilage of seaweeds from an integrated multi-trophic aquaculture system. *Algal Research*, 24(Part A):290-298.
- Campbell M, Ortuño J, Ford L, Davies DR, Koidis A, Walsh PJ, Theodoridou K (2020) The Effect of Ensilage on the Nutritional Composition and Fermentation Characteristics of Brown Seaweeds as a Ruminant Feed Ingredient. *Animals*, 10 (6):1019.
- Chapman AS, Stévant P, Larssen WE (2015) Food or fad? Challenges and opportunities for including seaweeds in a Nordic diet. *Botanica Marina*, 58 (6):423-433.
- Chopin T, Cooper JA, Cross S, Moore C (2012) Open-water integrated multi-trophic aquaculture: environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 4(4):209-220.
- Emblemsvåg J, Kvadsheim NP, Halfdanarson J, Koesling M, Nystrand BT, Sunde J, Rebours C (2020) Strategic considerations for establishing a large-scale seaweed industry based on fish feed application: a Norwegian case study. *Journal of Applied Phycology*.
- Evjemo JO, Hilmarsen Ø, Sunde LM, Brendeløkken H, Høyli R (2019) Bruk av spillvarme fra gassprosesseringsanlegget på Nyhamna rettet mot havbruk. SINTEF Ocean AS, vol 2018:00863, <https://mrfylke.no/content/download/5313/70392>
- FAO (2011) The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk, Summary report. Food and Agriculture Organization of the

- United Nations, Rome and Earthscan, London.
<http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e00.htm>
- FAO (2020) Global aquaculture production. Online query.
<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>.
 Accessed 24.06.2020
- Fiskeridirektoratet (2020a) Akvakulturregisteret. <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Registre-og-skjema/Akvakulturregisteret>. Accessed 22.10.2020
- Fiskeridirektoratet (2020b) Akvakulturstatistikk (tidsserier)-Alger.
<http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Alger>
- Fleurence J, Levine I (2016) Seaweed in health and disease prevention. Academic Press, San Diego.
- Forbord S, Matsson S, Brodahl GE, Bluhm BA, Broch OJ, Handå A, Metaxas A, Skjermo J, Steinhovden KB, Olsen Y (2020) Latitudinal, seasonal and depth-dependent variation in growth, chemical composition and biofouling of cultivated *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) along the Norwegian coast. *Journal of Applied Phycology*.
- Forbord S, Skjermo J, Arff J, Handå A, Reitan KI, Bjerregaard R, Lüning K (2012) Development of *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) kelp hatcheries with year-round production of zoospores and juvenile sporophytes on culture ropes for kelp aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, 24(3):393-399.
- Førde H, Forbord S, Handå A, Fossberg J, Arff J, Johnsen G, Reitan KI (2016) Development of bryozoan fouling on cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in Norway. *Journal of Applied Phycology*, 28 (2):1225-1234.
- Granby K, Amlund H, Valente LMP, Dias J, Adoff G, Sousa V, Marques A, Sloth JJ, Larsen BK (2020) Growth performance, bioavailability of toxic and essential elements and nutrients, and biofortification of iodine of rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) fed blends with sugar kelp (*Saccharina latissima*). *Food and Chemical Toxicology*, 141:111387.
- Halfdanarson J, Koesling M, Kvasdheim NP, Emblemsvåg J, Rebours C Configuring the Future Norwegian Macroalgae Industry Using Life Cycle Analysis. In, Cham, 2019. *Advances in Production Management Systems. Towards Smart Production Management Systems*. Springer International Publishing, pp 127-134
- Handå A, Forbord S, Wang X, Broch OJ, Dahle SW, Størseth TR, Reitan KI, Olsen Y, Skjermo J (2013) 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.
- Herrmann C, FitzGerald J, O'Shea R, Xia A, O'Kiely P, Murphy JD (2015) Ensiling of seaweed for a seaweed biofuel industry. *Bioresource Technology*, 196:301-313.
- Holdt SL, Kraan S (2011) Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3):543-597.
- MacArtain P, Gill CIR, Brooks M, Campbell R, Rowland IR (2007) Nutritional Value of Edible Seaweeds. *Nutrition Reviews*, 65(12):535-543.
- Marfaing H (2017) Qualités nutritionnelles des algues, leur présent et futur sur la scène alimentaire. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 52 (5):257-268.
- Matsson S, Christie H, Fieler R (2019) Variation in biomass and biofouling of kelp, *Saccharina latissima*, cultivated in the Arctic, Norway. *Aquaculture*, 506:445-452.

- Mattilsynet (2019) Prosessfremkalte stoffer.
https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/uonskede_stofferimaten/prosessfremkalte_stoffer/
- Miles MB, Huberman AM, Saldaña J (2014) Qualitative data analysis: Methods sourcebook (3rd edition). Sage Publications, Inc., Thousand Oaks, CA, USA
- Moen E, Horn S, Østgaard K (1997) Alginate degradation during anaerobic digestion of *Laminaria hyperborea* stipes. *Journal of Applied Phycology*, 9(2):157-166.
- Moreira R, Chenlo F, Sineiro J, Arufe S, Sexto S (2016) Drying temperature effect on powder physical properties and aqueous extract characteristics of *Fucus vesiculosus*. *Journal of Applied Phycology*, 28(4):2485–2494.
- Mujumdar AS (2014) Handbook of industrial drying, Fourth Edition CRC press, Boca Raton, FL, USA
- Nielsen CW, Holdt SL, Sloth JJ, Marinho GS, Sæther M, Funderud J, Rustad T (2020) Reducing the High Iodine Content of *Saccharina latissima* and Improving the Profile of Other Valuable Compounds by Water Blanching. *Foods*, 9(5):569.
- O'Sullivan L, Murphy B, McLoughlin P, Duggan P, Lawlor PG, Hughes H, Gardiner GE (2010) Prebiotics from marine macroalgae for human and animal health applications. *Marine Drugs* 8(7):2038-2064.
- Olafsen T, Winther U, Olsen Y, Skjermo J (2012) Verdiskaping basert på produktive hav i 2050. Rapport fra en arbeidsgruppe oppnevnt av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab (DKNVS) og Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA),
https://www.sintef.no/globalassets/upload/fiskeri_og_havbruk/publikasjoner/verdiskaping-basert-pa-produktive-hav-i-2050.pdf
- Peri C (2006) The universe of food quality. *Food Quality and Preference*, 17(1):3-8.
- Philis G, Gracey EO, Gansel LC, Fet AM, Rebours C (2018) Comparing the primary energy and phosphorus consumption of soybean and seaweed-based aquafeed proteins – A material and substance flow analysis. *Journal of Cleaner Production*, 200:1142-1153.
- Sánchez-García F, Mirzayeva A, Roldán A, Castro R, Palacios V, García-Barroso C, Durán-Guerrero E (2019) Evolution of volatile compounds and sensory characteristics of edible green seaweed (*Ulva rigida*) during storage at different temperatures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12):5475-5482.
- Sandbakken IS, Sæther M, Funderud J, Aasen IM (2018) Acid preservation of *Saccharina latissima* for application as a carbon source for fermentation to biofuels and chemicals. *Journal of Applied Phycology*, 30(6):3581–3588.
- Sappati PK, Nayak B, van Walsum GP (2017) Effect of glass transition on the shrinkage of sugar kelp (*Saccharina latissima*) during hot air convective drying. *Journal of Food Engineering*, 210:50-61.
- Skjermo J, Aasen IM, Arff J, Broch OJ, Carvajal A, Christie H, Forbord S, Olsen Y, Reitan KI, Rustad T, Sandquist J, Solbakken R, Steinhovden K, Wittgens B, Wolff R, Handå A (2014) A new Norwegian bioeconomy based on cultivation and processing of seaweeds: opportunities and R&D needs. SINTEF Fisheries and Aquaculture - Report A25981.
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2447684>
- Stévant P (2019) Seaweeds in food applications: effects of processing on product quality. Norwegian University of Science and Technology (NTNU),
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2606704>
- Stévant P, Emblemsvåg M, Walde PM, Sandvik R, Chapman AS, Velle LG (2015) Kartlegging av kunnskap for tørking av makroalger. vol MA 15-10. Mørefosking rapport,

https://www.moreforsk.no/download.aspx?object_id=67CC0089EB4F4547ABCD5D58BE90FEFO

- Stévant P, Indergård E, Nordtvedt TS, Barnung T, Fylling Standal T, Rebours C (2018a) Optimizing shelf life of *Saccharina latissima* using refrigeration and freezing storage. vol 18-08. [Møreforsking, https://www.moreforsk.no/publikasjoner/rapporter/marin/optimizing-shelf-life-of-saccharina-latissima-using-refrigeration-and-freezing-storage/1074/3253/](https://www.moreforsk.no/publikasjoner/rapporter/marin/optimizing-shelf-life-of-saccharina-latissima-using-refrigeration-and-freezing-storage/1074/3253/)
- Stévant P, Indergård E, Ólafsdóttir A, Marfaing H, Larssen WE, Fleurence J, Roleda MY, Rustad T, Slizyte R, Nordtvedt TS (2018b) Effects of drying on the nutrient content and physico-chemical and sensory characteristics of the edible kelp *Saccharina latissima*. *Journal of Applied Phycology*, 30(4):2587-2599.
- Stévant P, Marfaing H, Duinker A, Fleurence J, Rustad T, Sandbakken I, Chapman A (2017a) Biomass soaking treatments to reduce potentially undesirable compounds in the edible seaweeds sugar kelp (*Saccharina latissima*) and winged kelp (*Alaria esculenta*) and health risk estimation for human consumption. *Journal of Applied Phycology*, 30(3):2047–2060.
- Stévant P, Marfaing H, Rustad T, Sandbakken I, Fleurence J, Chapman A (2017b) Nutritional value of the kelps *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima* and effects of short-term storage on biomass quality. *Journal of Applied Phycology*, 29(5):2417-2426.
- Stévant P, Nordtvedt TS, Indergård E, Halfdanarson J, Baarset H, Rebours C (2019) Preliminary study on processing sugar kelp (*saccharina latissima*) using superheated steam drying and steam pre-treatment. vol MA 19-03. Møreforsking
- Stévant P, Ólafsdóttir A, Déléris P, Dumay J, Fleurence J, Ingadóttir B, Jónsdóttir R, Ragueneau É, Rebours C, Rustad T (2020) Semi-dry storage as a maturation process for improving the sensory characteristics of the edible red seaweed dulse (*Palmaria palmata*). *Algal Research*, 51:102048.
- Stévant P, Rebours C, Chapman A (2017c) Seaweed aquaculture in Norway: recent industrial developments and future perspectives. *Aquaculture International*, 25(4):1373–1390.
- Torres MD, Kraan S, Domínguez H (2019) Seaweed biorefinery. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 18(2):335-388.
- Troell M, Joyce A, Chopin T, Neori A, Buschmann AH, Fang JG (2009) Ecological engineering in aquaculture — Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297(1-4):1-9.
- Uchida M, Amakasu H, Satoh Y, Murata M (2004) Combinations of lactic acid bacteria and yeast suitable for preparation of marine silage. *Fisheries Science*, 70:507-517.
- van Oirschot R, Thomas J-BE, Gröndahl F, Fortuin KPJ, Brandenburg W, Potting J (2017) Explorative environmental life cycle assessment for system design of seaweed cultivation and drying. *Algal Research*, 27(Supplement C):43-54.
- Vatsos IN, Rebours C (2015) Seaweed extracts as antimicrobial agents in aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, 27(5):2017-2035.
- Wells ML, Potin P, Craigie JS, Raven JA, Merchant SS, Helliwell KE, Smith AG, Camire ME, Brawley SH (2017) Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*, 29(2):949-982.
- Øverland M, Mydland LT, Skrede A (2019) Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1):13-24.



MØREFORSKING

MØREFORSKING AS
Postboks 5075
6021 Ålesund
TEL +47 70 11 16 00
www.moreforsk.no
NO 991 436 502
