

---

Rapport nr. 15-10 | Pierrick Stévant, Margrete Emblemståg, Per Magne Walde,  
Richard Sandvik, Annelise Chapman, Liv Guri Velle

---

# KARTLEGGING AV KUNNSKAP FOR TØRKING AV MAKROALGER



---

<b>TITTEL</b>	Kartlegging av kunnskap for tørking av makroalger
<b>FORFATTER(E)</b>	Pierrick Stévant, Margrete Emblemsvåg, Per Magne Walde, Richard Sandvik, Annelise Chapman, Liv Guri Velle
<b>PROSJEKTLEDER</b>	Margrete Emblemsvåg
<b>RAPPORT NR.</b>	15-10
<b>SIDER</b>	49
<b>PROSJEKTNUMMER</b>	54792
<b>PROSJEKTITTEL</b>	Kartlegging av kunnskap for utredning av et pilot tørkeanlegg for makroalger i Møre og Romsdal
<b>OPPDRAGSGIVER</b>	Møre & Romsdal Fylkeskommune
<b>ANSVARLEG UTGIVAR</b>	Møreforskning
<b>ISSN</b>	0804-5380
<b>DISTRIBUSJON</b>	Åpen
<b>GODKJENT AV</b>	Agnes Gundersen, forskningssjef, Møreforskning AS
<b>NØKKEWORD</b>	Makroalger, tang og tare, tørking

---

## **SAMMENDRAG**

Dette forprosjektet er første steg mot etablering av et pilot tørkeanlegg for makroalger i Møre & Romsdal. Prosjektet har hatt som mål å (i) innhente kunnskap tilknyttet tørkeprosessering av makroalger og tilhørende prosesser, (ii) kartlegge relevant tørketeknologi, (iii) kartlegge behov og ønsker fra næringsaktører og (iv) samarbeide med utstyrleverandør for å finne tekniske løsninger og på sikt, å etablere et pilot tørkeanlegg og styrke den nye næringen i regionen.

---

© Forfatter/Møreforskning Marin

Forskriftene i åndsverksloven gjelder for materialet i denne publikasjonen. Materialet er publisert for at du skal kunne lese det på skjermen eller i fremstille eksemplarer til privat bruk. Uten spesielle avtaler med forfatter/Møreforskning Marin er all annen eksemplarfremstilling og tilgjengelighetsgjøring bare tillatt så lenge det har hjemmel i lov eller avtale med Kopinor, interesseorgan for rettshavere til åndsverk.

---

---

## FORORD

---

Forprosjektet «kartlegging av kunnskap for utredning av et pilottørkeanlegg for makroalger i Møre & Romsdal» har vært finansiert av Møre & Romsdal Fylkeskommunen gjennom regionalt utviklingsprogram (RUP).

Prosjektet har vært suksessfullt takket være godt samarbeid mellom prosjektdeltakere fra Møreforskning, Høgskolen i Ålesund, FMC Biopolymer, R-Container, Firmenich Bjørge Biomarin AS, LEGASEA og Tafjord Kraftvarme AS, og deres engasjement.

Prosjektgruppen ønsker også å takke Eyjólfur Friðgeirsson fra Íslensk hollusta ehf, Finnur Árnason fra Thorverk hf og Simon Sturluson fra Íslensk bláskel & sjávargróður ehf som tok imot oss på Island og for deres viktige bidrag i prosjektets gjennomføring.

Ålesund 22.06.2015

---

## INNHold

---

Oppsummering .....	1
Summary .....	2
1. Innledning .....	4
1.1 BEHOV FOR KUNNSKAPSLØFT INNEN TØRKETEKNOLOGI FOR MARINT RÅSTOFF .....	6
2. Effekt av tørkeprosesser på råstoffegenskaper .....	6
3. Industrielle tørkeprosesser .....	8
3.1. Flerbelts-tørking .....	8
3.2. Tunneltørking .....	9
3.3. Trommeltørking.....	10
3.4. Fluidbed-tørking .....	11
3.5. Maletørking .....	12
3.6. Frysetørking.....	13
3.7. Infrarød-tørking.....	17
4. Fremtidige løsninger for prosessering av makroalger .....	17
4.1. Dyrking, høsting og forbehandling .....	18
4.2. Tørking.....	19
4.3. Pilotanlegg.....	20
5. Konklusjon.....	21
Referanser .....	22

---

## OPPSUMMERING

---

Interessen for makroalger (alminnelig omtalt som tang og tare) som råstoff innen biomarin industri vokser raskt både nasjonalt og internasjonalt. Makroalge-råstoff har flerfoldige bruksområder som inkluderer direkte mat til konsum, matingrediens, fôrtilsetning, gjødsel, kosmetikk og bioenergi. Tang- og tarebiomassen har derfor et stort markedspotensial. Norge er en av verdens fremste alginatprodusenter med kommersiell høsting av stortare i snart 70 år. Den lange kystlinjen og tradisjon for å høste fra havet med verdens fremste lakseoppdrettssektor, gir gode forutsetninger for etablering av en næring basert på dyrking av makroalger.

For å fremme denne nye næringen er det viktig med teknologiutvikling for kostnadseffektiv prosessering av biomassen. Som første ledd i foredling vil det være viktig med primærprosessering, herunder tørking, for å stabilisere råstoff og legge til rette lagring, transport og videre foredling til ulike produkter. Dette prosjektet har som hovedmål å innhente og bygge opp kunnskap innen tørketeknologi for etablering av et tørkeprosesseringsanlegg for makroalger i Møre & Romsdal.

Dialogen har blitt etablert med industriaktører som bruker makroalgeråstoff, både i Norge og på Island, under en studietur, for å kartlegge ønsker og behov innen tørkemetoder med hensyn til krav til produkt samt økonomisk lønnsomhet. Tørking og annen råstoffbehandling påvirker produktkvalitet, derfor vil prosesseringsforhold som f. eks. temperatur, være avgjørende for å oppnå ønskede kvalitet til sluttprodukt. Ved bruk av makroalgebiomasse som mat, kosttilskudd og fôrtilsetning, vil høy næringsverdi, innhold i helsemessige komponenter og smaksegenskaper være vesentlige i produktet og skånsom behandling ved lav temperatur vil ofte gi bedre resultater. Derimot vil bulkprosessering ved høyere temperatur være mer effektiv der store volumer skal behandles raskt som f. eks i alginatindustrien.

Bruk av spillevarme fra industri kan betydelig redusere energikostnader fra prosessering og øke bærekraft i hele verdikjeden. Et samarbeid har blitt etablert med Tafjord Kraftvarme som produserer spillevarme fra avfallsforbrenning og en utstyrleverandør (R-Container) for å finne tekniske løsninger og etablere en pilotanlegg for tørking av makroalger i Møre & Romsdal.

Videreføring av dette forprosjektet vil skje gjennom det internasjonale og tverrfaglig prosjektet PROMAC som fokuserer på energieffektiv prosessering og raffinering av makroalger til menneskemat og dyrefôr der praktiske forsøk og analyser av produktsammensetning skal gjennomføres samt logistiske og økonomiske analyser.

---

## SUMMARY

---

The interest for seaweed as a raw material for the biomarine industry is growing rapidly in developed countries including Norway, as biomass from marine macroalgae has a wide range of industrial applications e.g. direct food for human consumption, food and feed ingredients, fertilizers, cosmetics and bioenergy. Norway is one of the world's foremost alginate producer based on commercial kelp harvesting for almost 70 years. The long coastline and tradition to harvest from the ocean with the world's leading salmon farming sector, providing good conditions for the establishment of an industry based on the cultivation of macroalgae.

Adapted technology for cost-effective processing of biomass is primordial to promote this new industry. As a first step in the transformation, primary processing, including drying, will stabilize raw material and facilitate storage, transport and further processing into different products. This project has as main objective to acquire and build up expertise in drying technology for the creation of a dry processing plant for macroalgae in the Møre & Romsdal County.

The dialogue has been established with industry players who use macroalgae as raw materials, both in Norway and Iceland, in order to identify needs in drying methods and technology with regard to product requirements and profitability. Drying and other raw materials processing will affect product quality. Control over processing conditions such as air temperature are important in order to achieve the desired quality of the final product. When using macroalgae biomass as food item, food and feed supplements, the nutritional value, content in health components and taste characteristics are essential. Treatment at low temperatures will generally maintain or increase the nutritional properties and sensory quality of the final product. Conversely, bulk processing at higher temperatures may be more effective when large volumes are to be treated quickly as for example in alginate production.

Use of waste heat from industry can significantly reduce energy costs from processing and increase sustainability throughout the value chain. A partnership has been established with Tafjord Kraftvarme who produces excess heat from waste incineration and a technology supplier (R-Container) in order to find technical solutions and establish a pilot plant for the drying of macroalgae in the Møre & Romsdal County.

The continuation of this pilot project will be achieved through the international and interdisciplinary PROMAC project which focuses on energy-efficient processing and refining of macroalgae for human consumption and animal feed, where practical experiments and analyzes of product composition will be implemented, as well as logistical and financial analyzes.





---

## 1. INNLEDNING

---

Makroalger omfatter makroskopiske og flercellede marine rød-, grønn- og brunalger, bedre kjent som tang og tare. Makroalger gir habitat og mat for mange beitedyr som skjell, snegler, kråkeboller, fisk og krabber og derfor spiller en vesentlig rolle i marine økosystemer. I tillegg til den miljømessige betydningen har makroalger også vært en viktig inntektskilde for mange kystsamfunn, hvor høsting av makroalger har foregått i århundrer. I Norge og andre kystnasjoner finnes det lange tradisjoner for utnyttelse av tang og tare, som i dag høstes fra ville bestander. Nye markeder har økt etterspørselen etter biomasse, og det foregår nå mye forskning og innovasjon rundt dyrking i havet for å øke og effektivisere produksjonen.

Makroalger er et viktig råstoff som brukes til ulike anvendelser som f. eks. mat, fortykningsmiddel i matindustrien, kosmetikk, dyrefôr og gjødsel (Holdt and Kraan, 2011). Ut ifra de siste tallene fra FAO (2014) ble det produsert 25 millioner tonn makroalger globalt i 2012, først og fremst fra dyrking i sjøen i asiatiske land (Kina, Indonesia, Filippinene, Korea, Japan). I Europa er makroalgeindustrien hovedsakelig basert på mekanisk høsting av ville bestander der formålet er alginat produksjon. Norge er Europas største produsent av alginat som utvinnes fra ca. 150 000 tonn stortare (*Laminaria hyperborea*) årlig (Meland and Rebours, 2012). I tillegg høstes det hvert år ca. 20 000 tonn grisatang (*Ascophyllum nodosum*) som anvendes innen landbruk, kosttilskudd og kosmetikk. Interessen for miljøvennlig dyrking av makroalger som fornybart råstoff for fremskaffelse av verdifulle komponenter vokser raskt, og det påpekes store muligheter for verdiskaping basert på dyrkingsaktiviteter i Norge (Olafsen et al., 2012; Skjermo et al., 2014). Mange varianter vokser langs Norskekysten hvorav flere har industrielle anvendelser i Norge eller andre land (Tab. 1).

**Tabell 1: makroalgearter som vokser langs Norskekysten og har dokumentert bruk i Norge eller andre land, basert på Zemke-White og Ohno (1999). Andre referanser: <sup>1</sup> Norwegian seaweeds network, <sup>2</sup> Rueness (1998), <sup>3</sup> Allen et al. (2001), <sup>4</sup> Kandasamy et al. (2012), <sup>5</sup> Schmid et al. (2006).**

Art	Norske navn <sup>1,2</sup>	Dokumenterte bruksområder
<b>Chlorophyceae</b>		
<i>Codium spp.</i>	Pollpryd	Mat
<i>Codium fragile</i>	Pollpryd	Mat
<i>Enteromorpha spp.</i>	Tarmgrønnske	Mat, landbruk
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	Tarmgrønnske	Mat
<i>Enteromorpha linza</i>	Rysjegrønnske	Mat
<i>Ulva spp.</i>	Havsalat	Mat, landbruk, papir
<i>Ulva lactuca</i>	Havsalat	Mat
<b>Phaeophyceae</b>		
<i>Alaria esculenta</i>	Butare	Mat

<i>Ascophyllum nodosum</i>	Grisetang	Alginat, gjødsel, kosttilskudd, dyrefôr <sup>3,4</sup>
<i>Fucus spp.</i>		Landbruk
<i>Fucus serratus</i>	Sagtang	Alginat, mat, kosmetikk
<i>Fucus vesiculosus</i>	Blæretang	Alginat, mat, kosmetikk
<i>Himanthalia elongata</i>	Remtang	Mat
<i>Laminaria digitata</i>	Fingertare	Alginat, mat
<i>Laminaria hyperborea</i>	Stortare	Alginat
<i>Saccharina latissima</i>	Sukkertare	Mat
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	Fjæreslo	Mat

### **Rhodophyceae**

<i>Ahnfeltia plicata</i>	Sjøris	Landbruk
<i>Catenella spp.</i>	Fjærekryp	Mat
<i>Chondrus crispus</i>	Krusflik	Karragen, mat, kosmetikk
<i>Dilsea carnosa</i>	Kjøttblad	Mat
<i>Gelidium spp.</i>	Agaralge	Agar, mat
<i>Gelidium pusillum.</i>	Agaralge	Agar, mat
<i>Gracilaria spp.</i>	Pollris	Agar, mat
<i>Gracilaria gracilis</i>	Pollris	Agar
<i>Lithothamnion coralloides</i>	Koralmergel	Landbruk
<i>Mastocarpus stellatus</i>	Vorteflik	Karragen, mat
<i>Palmaria palmata</i>	Søl	Mat
<i>Porphyra leucosticta</i>	Stripefjærhinne	Mat
<i>Porphyra umbilicalis</i>	Vanlig fjærhinne	Mat, kosmetikk <sup>5</sup>

På Vestlandet høstes det allerede store mengder stortare og det forventes en økning i dyrket biomasse ettersom flere taredyrkingsanlegg har etablert seg i regionen. Tørking er ofte brukt som primærprosessering av makroalger, men per i dag finnes det kun noen få småskala tørkeanlegg for makroalger i Norge. Oppbygging av kunnskap rundt tørkeprosessering er derfor av stor interesse for å sikre bærekraftig utvikling av en ny næring basert på utnyttelse av tarebiomasse. Erfaring og kunnskap fra tilsvarende næring i utlandet og fra andre sammenlignbare tørkeprosesser i regionen, som f.eks. klippfiskindustrien, må hentes inn og tilpasses næringens behov i forhold til blant annet algevolum, kvalitetskrav og infrastruktur.

Tørking er den vanligste konserveringsmetoden av mat og er en sentral prosess i foredlingsindustrien (Chen, 2008). Tørking forhindrer bakteriell nedbryting og reduserer vekt og volum til råstoff som skal transporteres og/eller prosesseres videre. Makroalger i fersk tilstand inneholder mellom 70 og 90 % vann (Jensen, 1993). Ettersom vått råstoff forringes fort, er det viktig

at tørkebehandlingen skjer raskt etter høsting. Ifølge en studie fra Naylor (1976) om fykokolloid industrien, kan makroalger lagres over flere år uten degradering dersom de er tørket på riktig måte. Tørkeprosessen kan derimot føre til uønskede effekter som betydelige endringer i næringsverdi og biomasse-sammensetning. Det er derfor viktig å tilpasse tørkingsmetoder som kan opprettholde ønsket kvalitet for videreføring til ulike produkter. Et bioraffineri konsept med fokus på fullstendig utnyttelse av alle komponenter i råstoffet vil skape merverdi fra makroalgebiomassen og sikre økonomiske bærekraft i det globale markedet.

### **1.1 BEHOV FOR KUNNSKAPSLØFT INNEN TØRKETEKNOLOGI FOR MARINT RÅSTOFF**

Dagens krav til produktutvikling og ivaretagelse av helsefremmende (bioaktive) komponenter er viktige drivere i utviklingen av tørketeknologi for humane høyverdige produkter. Skånsom råstoffbehandling er derfor en nøkkelfaktor i utviklingen. I tillegg kommer faktorer som reduserer produksjonskostnader og energiforbruk være sentrale, og skånsom råstoffbehandling anses som en nøkkelfaktor i utviklingen. Paradoksalt nok har ikke den tradisjonelle marine industrien fulgt med på utviklingen innen tørketeknologi de senere årene, og mange bruker fremdeles metoder som er utdatert. For å følge utviklingen og være i front er det derfor behov å for oppdatering og spissing mot problemstillinger knyttet opp mot marin biomasse, øke utviklingstakten og fylle «verktøykassen» med kompetanse, nye tilpassede metoder og teknologi. I tillegg er sjømat og protein fra havet et uttalt satsingsområde fra norske styresmakter. I lys av dette vil det være nødvendig med industriell prosessering av marint råstoff for å produsere protein med alle ønskede egenskaper intakt. Marint protein er en fellesnevner for aktørene i den biomarine klyngen LEGASEA™, og hvor arbeid med tørkeprosesser står sentralt. Kunnskap om optimal tørketeknologi gjør seg gjeldende for hele den marine verdikjeden; fra ombordproduksjon i flåteleddet, i havbruksnæringen og i landbasert industri.

Hovedtyngden av marin og biomarin industri i Norge befinner seg i Møre og Romsdal. En viktig aktør innen denne industrien er LEGASEA™-klyngen som har medlemmer langs hele verdikjeden fra fangst, via prosessering til produkt ut i markedet. Historisk sett har tørking vært en sentral konserverings- og prosesseringsmåte i regionen, f.eks. i klippfisk- og fiskemelsproduksjon. Klyngen har gitt tydelig uttrykk for behovet for et sterkt og oppdatert kompetansemiljø med nær beliggenhet til klyngen og med oppdatert kunnskap om tørking og avvanning der skånsom råstoffbehandling er prioritert. Ved å bygge spisskompetanse innenfor tørkeprosesser viderefører man allerede etablert kunnskap og tradisjoner som fundament i utvikling og tilpassing av ny kunnskap.

Det er ønskelig å bygge opp et sterkt regionalt kompetansemiljø på tørkeprosesser som er relevant for næringen, og som er lokalisert der hovedvekten av næringen holder til. Dette prosjektet undersøker teknologi spesifikt for makroalger hvilket er et nåværende og fremtidig viktig marint råstoff for den biomarine næringen.

---

## **2. EFFEKT AV TØRKEPROSESSER PÅ RÅSTOFFEGENSKAPER**

---

Soltørking, ovnstørking og frysetørking av tang og tare er de tre vanligste tørkemetodene som brukes både innen industri og på forskningsnivå. Chan et al. (1997) har sammenlignet effektene av de tre metodene på næringsinnhold i brunalgen *Sargassum hemiphyllum*. Ingen forskjell ble funnet i

innhold av råprotein (beregnet fra nitrogen innhold i prøvene, N \* 6,25, prosent av prøvens tørrvekt) mellom de tre behandlingene. Derimot viste frysetørket (-70 °C, 5 dager) algemateriale høyere innhold av total aminosyre, flerumettet fettsyrer samt C-vitamin enn materialet som ble tørket i ovn på 60 °C i 15 timer eller soltørket i 4 dager. Soltørking resulterte i lavest aske-, mineral-, og C-vitamininnhold. Dette kan skyldes lekkasje og/eller nedbrytningsprosesser etter lys- og lufteksponering. Selv om størst tap i næringsstoffer ble funnet etter ovnstørking, sannsynligvis på grunn av høy temperatur, oppnådde denne metoden et høyere mineral innhold og lavere vanninnhold i tørket produkt.

I en undersøkelse av tre forskjellige *Sargassum* arter påvises høyere aminosyre innhold etter frysetørking kontra ovnstørking på 60 °C i 15 timer (Wong and Cheung, 2001a). Samme studie påviser bedre svellingskapasitet og olje- og vannholdnings kapasitet av frysetørkede algemateriale, noe som vil ha betydning ved bruk av råstoff i matindustrien. Dette kan forklares med at algenes cellevegger (fiber) blir mindre skadet av frysetørking sammenlignet med ovnstørking. Ut i fra disse kriteriene vil derfor frysetørking være best egnet for behandling ved utnyttelse av makroalger til funksjonelle ingredienser i matindustrien. Ulempene ved denne prosessen er store kostnader tilknyttet innkjøp og drift av utstyr og relativt lav tørkevolum sammenlignet med ovnstørking. Derimot ble det funnet bedre utbytte i proteinutvinning fra ovnstørket *Sargassum* og bedre fordøyelighet av protein, sammenlignet med frysetørket råstoff (Wong and Cheung, 2001b). Dette var korrelert med lavere innhold i fenoliske komponenter som er kjent for å forhindre proteinutvinning i brunalger (Ragan and Glombitza, 1986) og kan virke som antinæringsstoff (Sharma and Kapoor, 1997). Reduksjon i total polyfenol innhold ble påvist ved bruk av lengere tørketid (Garau et al., 2007).

Soltørking anses i mange land som den billigste og lettest tilgjengelig konserveringsmetoden. Ulempen men soltørking er at biomasse blir utsatt for klimatisk variasjon som kan forringe produktkvaliteten. Ovnstørking av rødalgen *Kappaphycus alvarezii* under kontrollerte forhold førte til høyere innhold av viktige komponenter som polyfenol eller pigmenter sammenlignet med soltørking, frysetørking og ulike varianter av passiv lufttørking (Ling et al., 2014).

Ovnstørking av *Himanthalia elongata* fører til reduksjon i både fenoliske komponenter og flavonoid i forhold til ferskt råstoff, en effekt som er betydelig større ved 25 °C enn 40 °C (51 % mot 29 % reduksjon) (Gupta et al., 2011). Resultater fra samme eksperiment påviste en økning av fenoliske komponenter etter to timer tørking ved 40 °C. Til tross at polyfenoler har negative effekter mot proteinutvinning og fordøyelighet, har tidligere utredninger avslørt at ekstrakter fra brunalger, spesielt deres polyfenoler har antioksidantaktivitet (Kuda et al., 2005; Wang et al., 2009; Wang et al., 2012). Denne egenskapen har potensial til anvendelse i makroalgebasert helsekost og kosmetikkprodukter. I denne sammenheng ble det observert at termisk behandling av *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima* og *Himanthalia elongata* i en autoklav på 95 °C gir økning i total polyfenolinnhold (Rajauria et al., 2010).

Et studium fra Tello-Ireland med fl. (2011) om effekt av tørketemperatur på produkttegenskaper av rødalgen *Gracilaria chileensis* viser at høyere temperatur (70 °C) gir større utbytte av agar. Samtidig vil andre verdifulle komponenter, slik som phycobiliproteiner (pigmenter) og andre bioaktive ingredienser, samt egenskaper av kommersielle interesse i matindustri som tekstur, farge, rehydrering- og vannholdningsevner, ødelegges ved høy temperatur. I bioraffineri-sammenheng må økonomiske aspekter av det tørkede produktet vurderes. Dette kan føre til et kompromiss om driftsforholdene involvert i den totale prosessen dersom flere produkter tas ut.

I mange tilfeller vil eventuelle forbehandlinger være fordelaktige for å effektivisere tørkeprosessen. Metoder som skylning eller skjæring brukes ofte, men vil påvirke biomasse ved tap av vannløselige molekyler (Kuda et al., 2002) eller oksidasjon av komponenter (Ponmari et al., 2011).

---

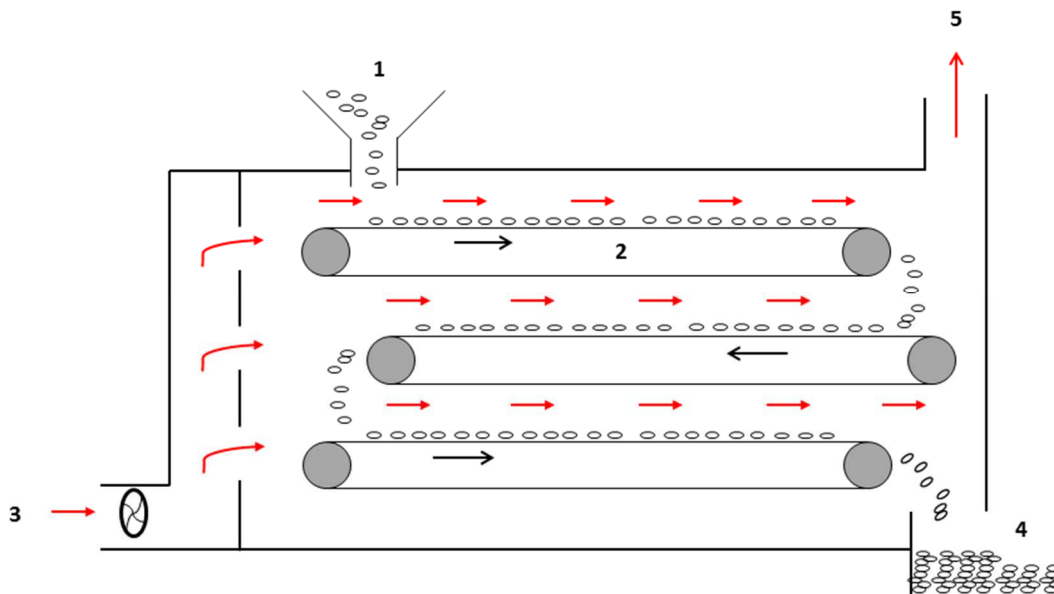
### 3. INDUSTRIELLE TØRKEPROSESSER

---

Flere europeiske land som f. eks. Frankrike, Island og Irland, har utviklet en lønnsom industri basert på utnyttelse av marine makroalger. I Frankrike høstes det ca. 70 000 tonn makroalger årlig, hovedsakelig stortare (*Laminaria hyperborea*) og fingertare (*Laminaria digitata*) til alginat produksjon (Mesnildrey et al., 2012). På slutten av 60 tallet ble foredling av makroalger mekanisert med utprøving av flere tørkesystemer beskrevet av Perez (1968). Senere resultater konkluderer med at både tunnel tørking ved lav temperatur (mellom 20 og 40 °C) og luftgjennomstrømning samt «flashtørking» ved høy temperatur (fra 330 til 600 °C) (som tidligere ble brukt i Norge i alginatindustri), egner seg til alginatproduksjon (Perez, 1969). Dersom tørkede makroalger skal brukes til mat eller dyrefôr er det vesentlig å opprettholde produktets næringsverdi. Flashtørking har blitt brukt i prosessering av restråstoff fra soyamelk uten negative effekter på næringsinnhold (Grizotto and de Aguirre, 2011). Effekter av denne metoden på næringsstoffer i makroalger er ennå ikke dokumentert.

#### 3.1. FLERBELTS-TØR KING

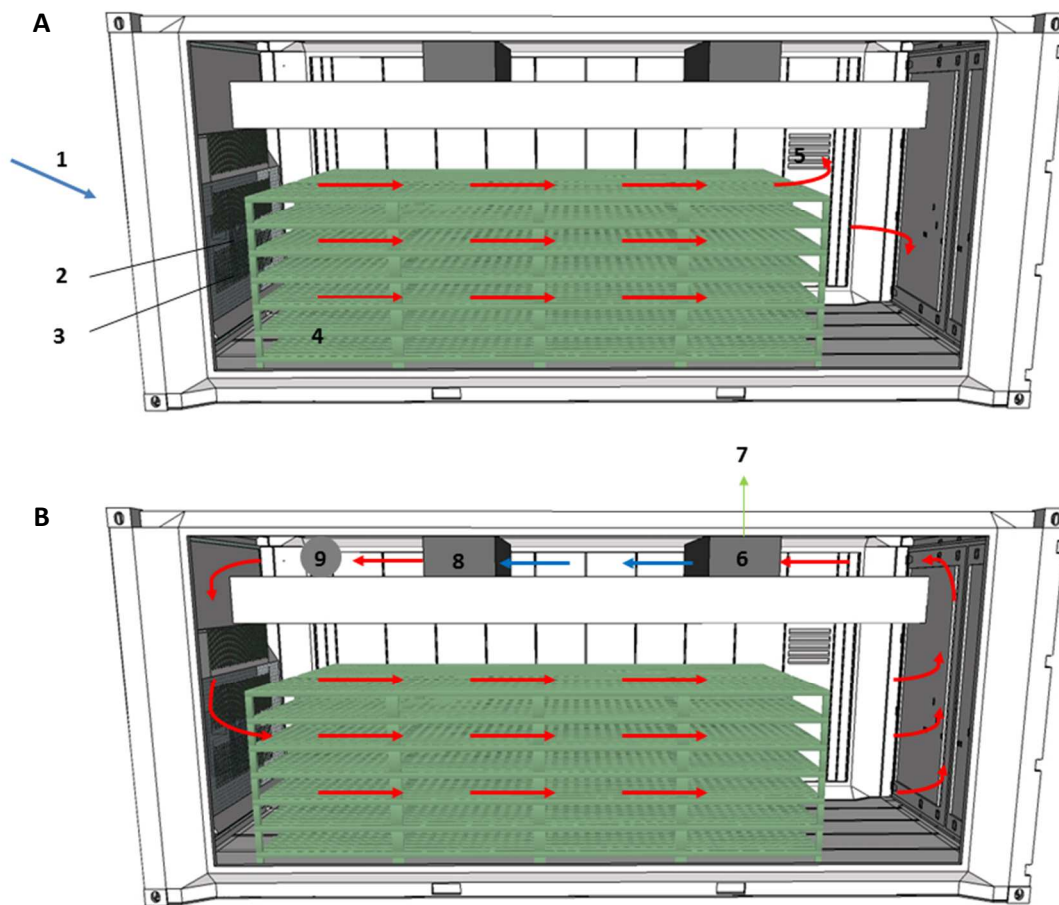
På Island brukes flerbelts-tørkesystemer (fig. 1) for primær prosessering av stortare og grisetang, med bruk av geotermisk varme som energi kilde. Teknologien ble opprinnelig utviklet for tørking av torskehoder og senere implementert i alginatproduksjon. Tørking ved 70 °C til 12 % fuktighetsinnhold ble anbefalt til dette formålet (Hallsson, 1992). Systemet er fortsatt i bruk hos Thorverk hf i Reykhólar, på Nord-Vest Island. Bedriften produserer tangmjøl fra høstede grisetang og stortare i Breiðafjörður, som eksporteres og brukes videre til alginat- og gjødselproduksjon, fôrtilsetning og medisinindustri. Høstet biomasse kuttes og føres inn i en flerbelte tørker. Stilken er betydelig tykkere enn bladet, og krever derfor lengre tørketid. Bedriften behandler stilk og blad samtidig, noe som fører til at en andel av stilkene ikke blir tilstrekkelig tørket og dermed faller ut av produksjonen (Finnur Árnason, pers. meld.). Bedriften ønsker derfor å effektivisere tørkeprosessen for å unngå biomasse tap og optimalisering av produksjonen.



Figur 1: Prinsipp tegning av et flerbelt tørkesystem. 1: våt biomasse, 2: transportbelte, 3: varmluftinngang, 4: utgang av tørket biomasse, 5: varmluftutgang (Fellows, 2009).

### 3.2. TUNNELTØR KING

Bedriften Íslensk Bláskel & Sjárvargróður har blåskjell oppdrett i Breiðafjörður som hovedaktivitet. De siste årene har de startet høsting av sukkertare som vokser på oppdrettstauene, samt høsting av søl (*Palmaria palmata*) og butare (*Alaria esculenta*) i fjæresonen, hvilket har blitt en stadig større aktivitet for bedriften. Algene vaskes og tørkes, deretter selges eksklusivt som mat enten innad på Island som taresnacks, eller til gastronomiske restauranter på det nordiske markedet og den norske distributøren av tareprodukter The Northern Company. Til tross for at selskapet har en relativ kort erfaring med prosessering av makroalger, har de i samarbeid forskningsinstituttet Matís, fått en tilpasset container for tang- og taretørking (fig. 2). Etter vasking med salt- eller ferskvann, legges biomassen på tørkebrett. Tørkecontaineren er bygd som en tørketunnel, som ofte er brukt i annen matindustri som f. eks. klippfisk. Geotermisk energi benyttes som varmekilde. En ventil gir mulighet til å justere mengden luft som strømmer inn i systemet, slik at ved høy luftfuktighet kan luften resirkuleres i containeren. Biomasse tørkes i batch ved lav temperatur (22 °C) i varierende lengde avhengig av art og tykkelse. Søl tørkes i 24 timer, og brunalger noe lenger. Dette er en skånsom tørkeprosess som foretrekkes fremfor høyere temperatur for å opprettholde smaksbestanddelene i produktet. Ulempen med dette systemet er et ujevn tørking der biomassen som ligger nærmest viftet blir fortere tørket enn resten. For å unngå dette flyttes tørkebrettene under prosessen. En annet problem er at brunalgene har en tendens til å klistre seg sammen under tørking, noe som gjør at de øverste lagene tørkes og beskytter nedre lag mot luftstrøm. Derfor røres biomassen manuelt ca. hver 10 time.



**Figur 2: Tørkecontainer. Batch tørking ved luftgjennomstrømming (A) og resirkulering (B). 1: kaldluft inntak, 2: vifte, 3: varmeveksler (tilkoblet geotermisk vann), 4: tørkebrett, 5: varmluft utgang, 6: fordampner, 7: vanddamp, 8: kondensator, 9: vifte.**

Et slikt system i mindre størrelse brukes også av Íslensk Hollusta i Hafnarfjörður som produserer tørket søl- og stortaresnacks, eller videre bearbeidede produkter som marinert søl og soya saus med søl. Ved tørking av råstoff som skal brukes til mat vil et luft rensesystem, som f. eks. et oson ventilasjonssystem tilknyttet tørkekammer, bidra til at en unngår luftforurensing av behandlet materiale som er vesentlig i henhold til matsikkerhet. Dette har blitt implementert i makroalgetørking i Frankrike (Chapman et al., 2015).

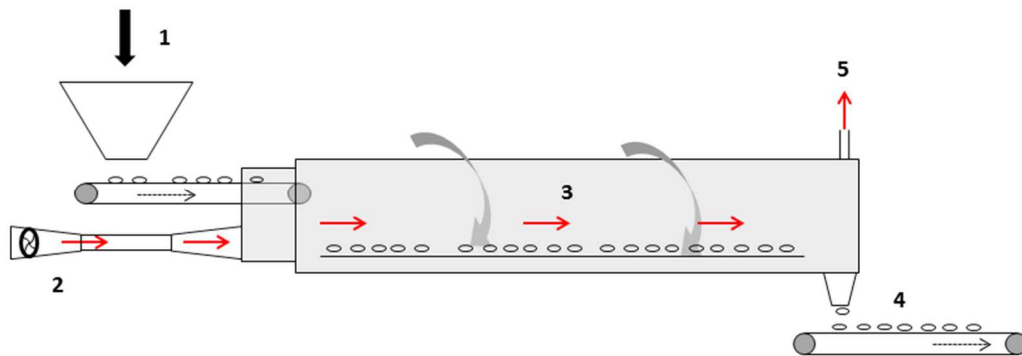
Tunneltørking benyttes i matindustri for prosessering av diverse produkter som fisk, frukt og grønnsaker. Batch tørking brukes ofte når små mengder råstoff skal tørkes, og krav til produktkvalitet er høy. Kontinuerlige tørkeenheter blir derimot brukt i større anlegg der flere tonn råstoff skal tørkes pr. dag

### 3.3. TROMMELTØR KING

I Irland høstes det grisetang til alginatproduksjon og andre arter som søl (*Palmaria palmata*) og butare til mat. Til dette formålet har Walsh og Watson (2011) foreslått roterende trommel (fig. 3) eller såkalte «fluid-bed» tørkesystem (fig. 4) for å erstatte eksisterende arbeidskrevende manuell sortering og spredning av biomasse på tørkehylle i spesialtilpasset tørkerom. En tørketrommel



består av en svakt hellende roterende metallsylinder der biomassen røres og transporteres sakte gjennom sylindren med parallell eller motstrøms varmluft. Denne metoden egner seg til tørking av alger som uten rotering vil klebe seg sammen. Tørketromler har blitt brukt i USA, Canada, Frankrike (Naylor, 1976) og Norge (Jensen, 1960) for tørking av makroalger med uniforme resultater med hensyn til produkt kvalitet.



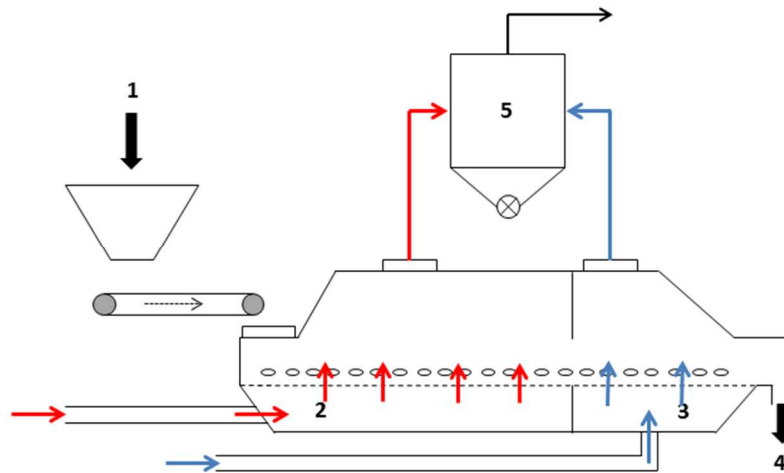
**Figur 3: Prinsipp tegning av et roterende-trommel tørkesystem. 1: våt biomasse, 2: varmluftinngang, 3: roterende trommel, 4: utgang av tørket biomasse, 5: varmluftutgang.**

### 3.4. FLUIDBED-TØR KING

Fluid bed («fluidized bed») tørking er en teknikk som går ut på å la tørkeluft strømme gjennom en «seng» (bed) av material som skal tørkes, hvor varme overføres konvektivt fra tørkeluften til materialet. Denne metoden ofte brukes mot råstoff som tidligere i prosessen har blitt kuttet eller redusert til pulver. Ved tilpasset lufthastighet vil partikler/biter bevege seg og bli suspendert i luftstrømmen. Fluid bed tørking kan benyttes ved ulike oppsett med forskjellige egenskaper. Ved denne metoden oppnår man raskt tørkebehandling med relativt lav energibruk, grunnet høy termisk effektivitet (høy varmeveksling mellom luft og materiale). Tørkeenheten er i prinsippet stasjonær, der det eneste som er i bevegelse, er luftstrømmen og materialet. Dette gir fluid bed tørkeenheter en fordel ved å oppnå betydelig lavere drifts- og vedlikeholdskostnader enn for tørkeenheter der mekaniske bevegelige deler inngår.

Ved bruk av varmluft for tørking av biomasse må innløps lufttemperatur velges slik at materialets fuktighet fordamper fra overflaten og transporteres fra det indre del av råstoff ved kapillaritet. Dersom temperaturen er for høy vil en skorpe trolig forme seg på materialets overflate og dermed innkapsle fuktighet i dypere lag og forsinke tørkeprosessen.

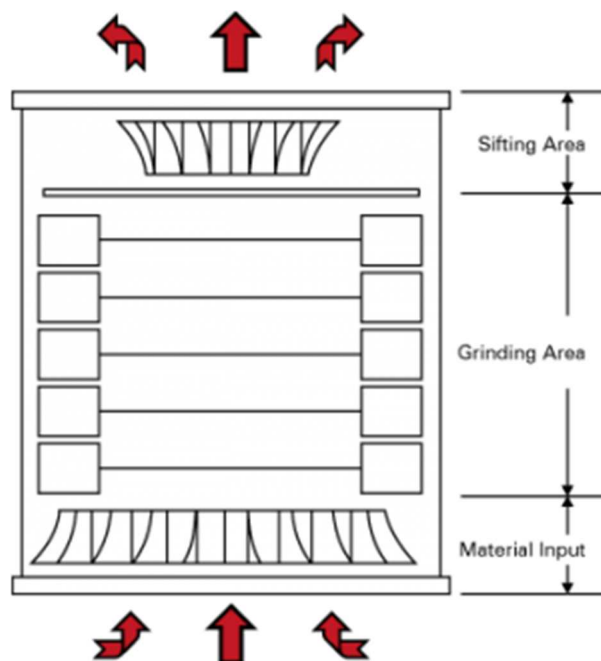




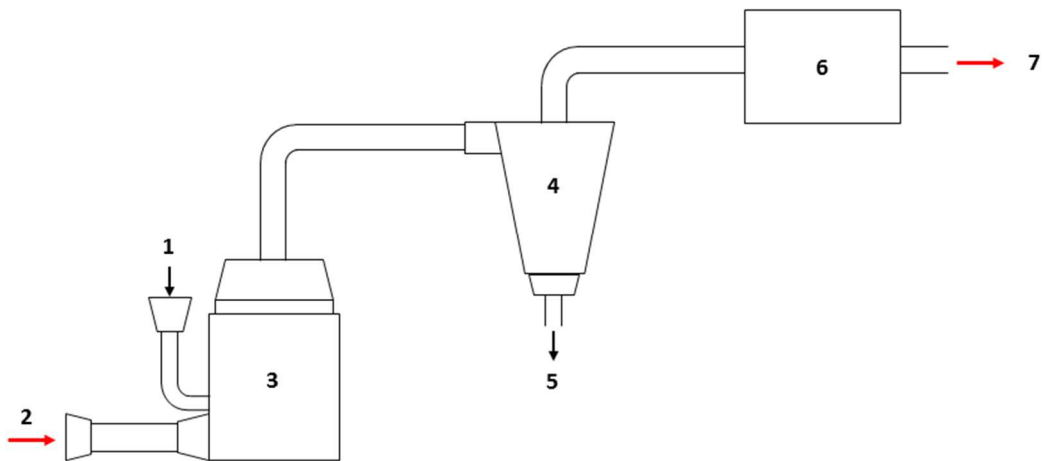
Figur 4: prinsipp tegning av et fluid-bed tørkesystem. 1: inngang av våt biomasse, 2: varmluftinngang, 3: kaldluftinngang, 4: utgang av tørket og nedkjølt biomasse, 5: støvfilter.

### 3.5. MALETØR KING

Tørkehastigheten øker dramatisk når partikkelstørrelsen reduseres. Dermed har kombinasjon av maling og tørking mange fordeler. I tørkesystemer som TurboRotor (Görgen Mahltechnik GmbH, Dormagen, Tyskland) skjer både formaling i ulike mulige størrelser, tørking og sikting av produktet i samme apparat (fig. 5). Apparatet mates med partikulært materiale som flyter i en malesone der en kraftig luftstrøm skaper turbulens og fører til at partikler treffer hverandre og splittes ved slagskraft. Deretter separeres det malte og tørkede materialet fra luftstrømmen ved en syklon og et tekstilfilter (fig. 6). Dette systemet brukes i matindustri samt til tørking og pulverisering av alginatmasse etter utvinning fra tarebiomasse. Til tross for at forsøk har lyktes med å tørke våt tarebiomasse (Görgens GmbH) har systemet ikke blitt implementert i industriell produksjon per i dag.



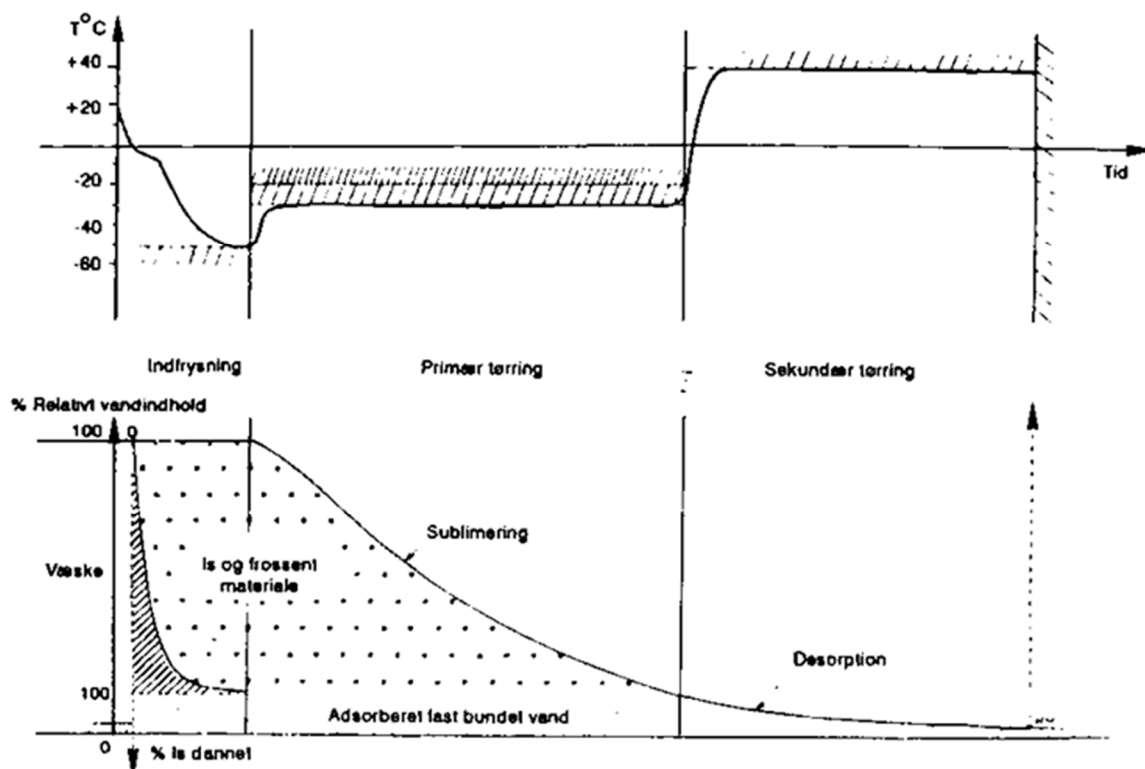
Figur 5: Prinsipp tegning av Vortex møllen i en TurboRotor system (Görgens GmbH)



Figur 6: Prinsipptegning av et turboRotor system (Görgens GmbH). 1: våt biomasse inn, 2: varmluftinngang, 3: Vortex møllen, 4: sykklon, 5: tørket og formalt produkt ut, 6: filter, 7: luft ut.

### 3.6. FRYSETØRKING

Frysetørrking er en vanlig metode for konservering av organiske materialer og matvarer. I prosessen inngår det flere trinn der materialet først fryses raskt, vanligvis mellom  $-50$  og  $-80$  °C for å unngå krystaldannelse som vil ødelegge biomassens egenskaper (Liapis and Bruttini, 2014). Deretter senkes trykket i kammeret i den første tørkefasen (fig. 7) og tilstrekkelig varme tilføres materialet for å sublimere isen under vakuum. En sekundær tørkefase fordamper resten av vannmolekylene (desorpsjon) som ikke har blitt frosset, ved høyere temperatur. Hovedfordelen ved bruk av denne metoden er en skånsom prosess, uten krymping i starten av forløpet, og med minimalt tap av egenskaper. Frysetørrking benyttes for å produsere matprodukter med høy kvalitet der både smak og næringsverdi opprettholdes. Hvilket tidspunkt kan man gå fra kald sublimasjon til varm desorpsjon avhenger av produktet. Vanninnholdet må reduseres så mye at strukturen i materialet ikke lenger endres ved videre reduksjon av vanninnhold. Fastlegging av det optimale punkt for endring av tørkebetingelsene, må gjøres for hver enkelt produktgruppe ved eksperiment. Ulempen med frysetørrking er relativt lang tørketid og høye driftskostnader.

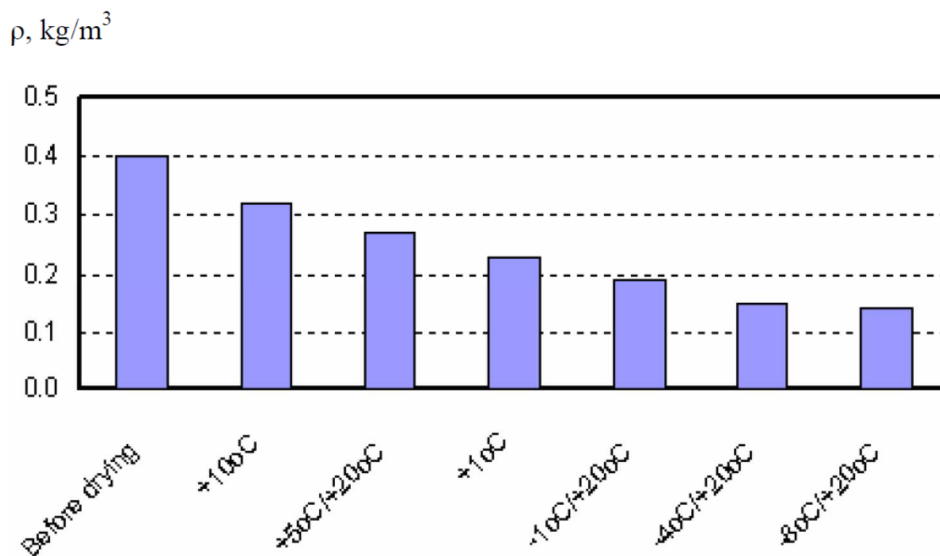


Figur 7: Temperatur og vanninnhold ved vakuum frysetørrking. Etter Rey (2004).

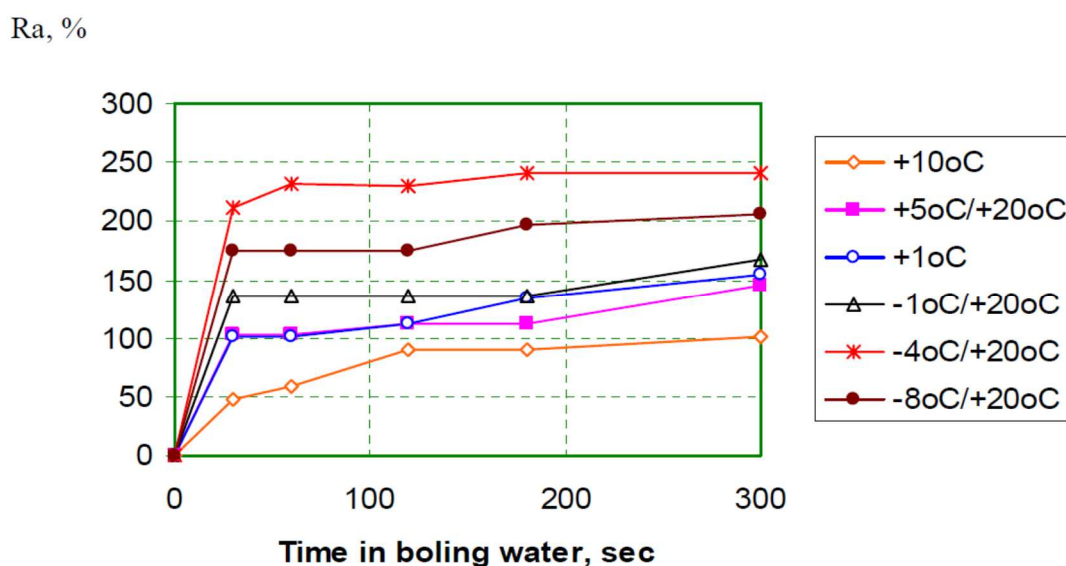
Figuren ovenfor viser frysetørrking i to trinn; først ved sublimasjon under lav temperatur, deretter desorpsjon ved høyere temperatur. Dette er standard prosess for både vakuum-frysetørrking som er den vanligste metoden, og såkalt atmosfærisk frysetørrking. De to metodene skiller på trykk og temperaturnivå i den kalde delen av tørrkingen. Atmosfærisk frysetørrking er en varmepumpetørke som opereres med tørrluft under varens frysepunkt, ca. -8 til -10°C. For å oppnå lav relativ fuktighet (ca. 0,4) i dette temperaturområdet, må luften kjøles ned mellom -20 og -25°C. Da oppnås sublimasjon i tørrkingens første del, og slutt - tørrkingen foretas ved høyere temperatur (desorpsjon). Produktet kan være froset før tørrkingen der det er hensiktsmessig, for eksempel dersom en vil konsentrere en væske til tørrstoff. Fordelen ved å bruke atmosfærisk frysetørrking er at fordampingsvarmen gjenvinnes. Siden tørkekammeret ikke trenger å bygges for vakuum, blir investeringen lavere enn for vakuum frysetørrking. Tørketiden blir derimot noe lengre, da vakuumeffekten på fordampingen bortfaller. Generelt kan man si at tørkehastigheten øker med økende temperatur, og avtar med fallende temperatur. Atmosfærisk frysetørrking kan utføres i mange ulike tørkekombinasjoner, eksempelvis i statisk sjikt eller virvelsjikt (Fluid Bed).

Di Matteo et al. (2003) beskriver et forsøk med atmosfærisk frysetørrking utført i fluid bed. I dette forsøket ble det vist at tørkehastigheten i atmosfærisk frysetørrking i fluid bed kan være like høy som vakuum-frysetørrking i statisk bed. I tillegg vil prosesseringstid reduseres ved reduksjon av produktsstørrelse. Boeh-Ocansey (1984) undersøkte kvalitetsegenskaper hos gulrotskiver, reker og kalkunkjøtt tørket i vakuum kontra atmosfærisk frysetørrking, og fant at gulrøtter hadde svært like kvalitetsegenskaper etter begge metodene, mens reker og kalkunfilet hadde noe bedre egenskaper etter vakuum frysetørrking. Lignende resultat er vist av Strømme (2005) der bulk tetthet som funksjon av tørketemperatur er undersøkt (fig. 8). Bulk tetthet er en viktig kvalitetsegenskap hos f. eks. fiskefor, da den innvirker på forets synkehastighet. Lav bulk tetthet indikerer også et porøst

materiale, og at volumet er bevart tross fjerning av vann. Samme prøver ble undersøkt for rehydreringsevne (fig. 9) som også er en kvalitetsindikator ved tørking, og angir i hvilken grad et produkt er denaturert. Denaturering er definert som tap av naturlige egenskaper. Vannbindingsevne er en viktig funksjonell egenskap i bl. a. matindustri, som er redusert ved denaturering.



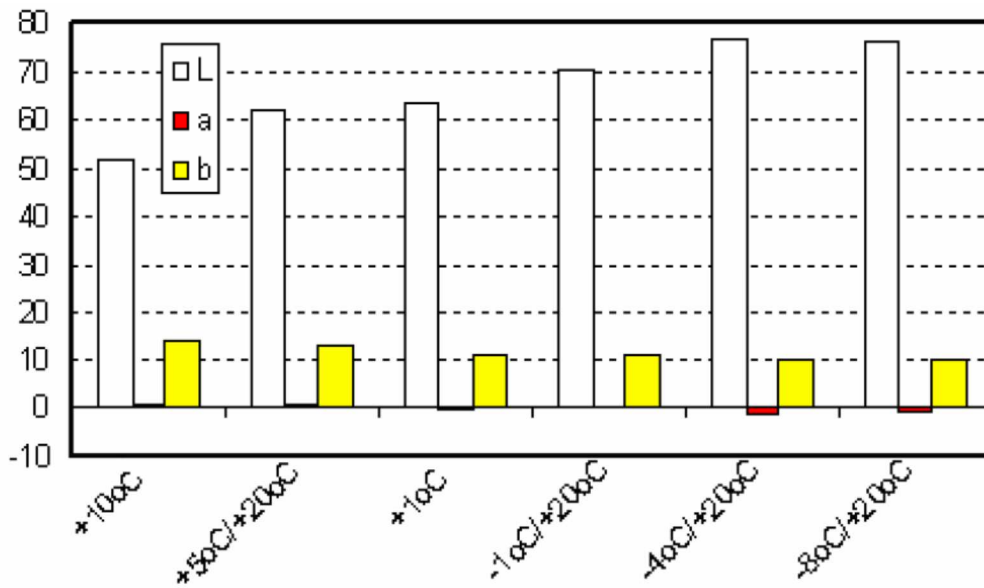
Figur 8: Bulk tetthet av tørkede torskestykker ved tørketemperatur fra -10 °C til 30 °C (Strømme et al., 2005).



Figur 9: Rehydreringsevne for torskestykker tørket ved ulike temperaturer, som funksjon av rehydreringstid (Strømme et al., 2005).

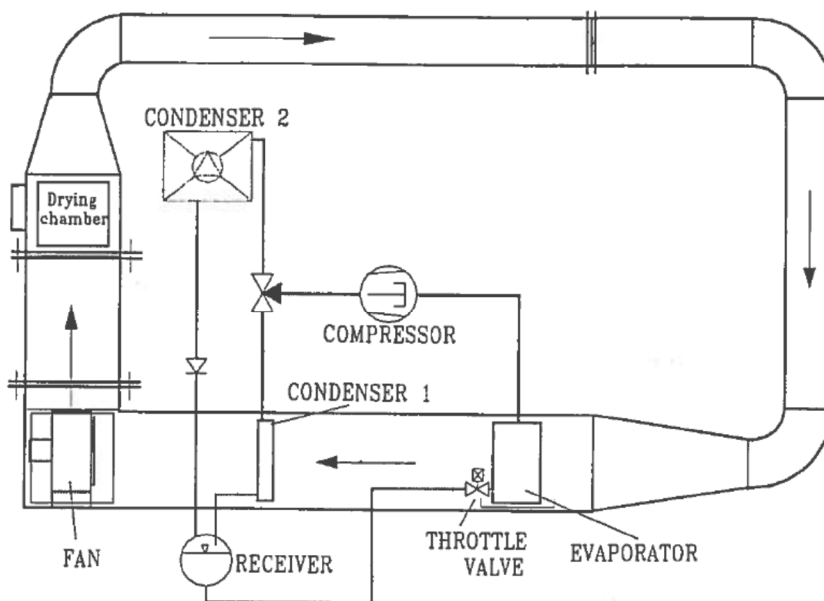
Farge er en annen funksjonell egenskap som endres ved denaturering. Det samme studiet undersøkte også fargen på torskestykkene. Hvit er tegn på lite denaturering og gul viser mer denaturering, som bl.a. fettharskning. Resultatet (fig. 10) indikerer at torsk tørket ved -5°C er mindre denaturert enn torsk tørket ved 30 °C.

L, a, b values



Figur 10: Fargemåling av torskebitar tørket ved -5 °C og 30 °C (Strømme et al., 2005)

Nedenfor (fig. 11) vises en forsøksrigg til varmepumpe tørking i fluid bed fra NTNU.



Figur 11: Varmepumpebasert fluid bed tørke (Strømme et al., 2005).

I mange tilfeller gir atmosfærisk frysetørking tilnærmet like gode produkttegenskaper som vakuumpumpe frysetørking, men har vist seg å by på problemer med klebrig materiale ved at biomasse klistrer seg sammen til klumper som dermed får betydelig lengre tørketid. Frysing av makroalgene kan være en metode til å hindre sammenfiltrering men kan også føre til skader på celler og vev dermed endre fysiske egenskaper i biomassen.

### 3.7. INFRARØD-TØR KING

Denne teknikken er basert på transmisjon av elektromagnetisk infrarød (IR) stråling som overføres fra en varmekilde til overflaten av materialet som skal tørkes, uten oppvarming av omgivende luft (Ratti and Mujumdar, 2014). Termisk IR stråling som faller inn på materialets overflate absorberes og energien blir omdannet til varme. Strålingen reflekteres fra overflaten eller transmitteres gjennom materialet, etter balansen:

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

$\rho$  = refleksjon-,  $\alpha$  = absorpsjon og  $\tau$  = transmisjonsevner.

IR stråling klassifiseres i tre kategorier i henhold til den termiske strålingens bølgelengdeområde, nær-infrarød (NIR, 0,75 – 3,00  $\mu\text{m}$ ), midt-infrarød (MIR, 3 – 25  $\mu\text{m}$ ) og langbølge infrarød (FIR, 25 – 100  $\mu\text{m}$ ). Siden de fleste matprodukter absorberer strålingsenergi i FIR regionen brukes denne typen stråling mest i matindustrien (Sandu, 1986). IR behandling kan brukes til ulike prosesser som tørking, baking, steking, pasteurisering og sterilisering (Krishnamurthy et al., 2008). IR-tørking gir fordeler inkludert lav tørketid, jevn tørking, høy produkt kvalitet (Sakai and Hanzawa, 1994), bruk av lavkostnads-utstyr og gir betydelig energisparing fremfor konvensjonell konveksjonstørking. Teknikken har blitt brukt for tørking av løk- (Sharma et al., 2005) og epleskiver (Nowak and Lewicki, 2004), bygg (Afzal et al., 1999) og brunalgen *Ecklonia cava* (Lee and Jeon, 2010) med gode resultater i forhold til produkttegenskaper som rehydreringsevne, bulk tetthet og antioksidant aktivitet. IR-tørking brukes også i Japan til prosessering av nori blader. Siden strålingen må nå materialets overflate, egner IR tørking seg best til flate og tynne materialer (Sakai and Hanzawa, 1994), og kan derfor være vanskelig å tilpasse bulk prosessering av store biomassevolumer der flere makroalgeblad ligger opp på hverandre. Mulighetene for å tilpasse tørkeenheter er derimot store, og IR stråling kan kombineres med varmluftkonveksjon (Jaturonglumert and Kiatsiriroat, 2010), vakuum frysetørking (Lin et al., 2005) og risting av materiale (Das et al., 2009).

---

## 4. FREMTIDIGE LØSNINGER FOR PROSESSERING AV MAKROALGER

---

I dag høstes ca. 50 % av tarebiomassen i Møre & Romsdal til alginatproduksjon (Steen, 2005). Biomassen preserveres i formaldehyd og fraktes til Karmøy, hvor FMC har sin prosesseringsfabrikk. Her vaskes formaldehyd ut i henhold til utslippstillatelse før videre prosessering. En mer miljøvennlig og skånsom preservering er ønskelig, hvilket kan oppnås ved tørking. Høstingsområdet for stortare har nylig blitt utvidet nordover mot Nord-Trøndelag og muligheter for å åpne høstingsfelter i Nordland undersøkes. Frakt av våt biomasse over lengre strekninger vil medføre større kostnader, derfor blir etablering av flere mottaksanlegg som kan tørke og stabilisere biomassen, enda mer aktuell.

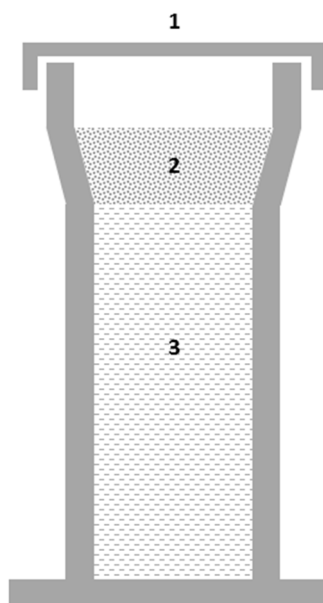
I Møre & Romsdal har aktiviteter tilknyttet utnyttelse av tang og tare utviklet seg de siste årene, noe som gir grunnlag for utvikling av tørketeknologi tilpasset dette råstoffet. På Nordmøre bruker Algea AS komponenter fra høstede grisetang til nisjeprodukter innenfor helsekost, dyrefôr og plantegjødsel. Selskapet ble i fjor tildelt Norges første kommersielle tarekonsesjon i Orstranda og

satser på dyrking av sukkertare (*Saccharina latissima*) og butare (*Alaria esculenta*). I tillegg har Møre & Romsdal blitt en samlingsarena for bedrifter innen den biomarine næringen. Marint protein er en fellesnevner for aktørene i den biomarine klyngen LEGASEA™, hvor arbeid med tørkeprosesser står sentralt. Flere bedrifter i klyngen har interesse for utvinning av makroalgekomponenter som bl.a. proteiner.

#### 4.1. DYRKING, HØSTING OG FORBEHANDLING

Ved taredyrking vil høsting av produsert råstoff primært skje i mai/juni for å unngå begroing i løpet av sommeren og forringelse av kvaliteten. Produksjonstallene viser at utbytte av sukkertare (dyrket i nærheten av fiskeoppdrettsanlegg) ligger mellom 8 og 12kg/m<sup>2</sup>, og det antas at 100 ha dyrkingsareal fordelt på ca. 10 lokaliteter er et nødvendig minimum for å oppnå økonomisk lønnsomhet (Chapman et al., 2014). Dette vil gi en produksjon på 800 til 1200 tonn sukkertare per lokalitet, og innebærer at et tørkeanlegg må være i stand til å prosessere store mengder tarebiomasse på relativt kort tid. Satsing for å avle fram varianter som er mindre utsatt for begroing samt utvikling av nye dyrkingsteknologier vil føre til større biomasseutbytte i fremtiden. Å utvikle konserveringsmetoder vil kunne redusere hastverk ved innlevering av store volum, samt føre til en mer jevn produksjon av tørkede makroalger.

Ensilering vil stabilisere den høstede biomassen under lagring og kan enten være et alternativ til tørking, eller en forbehandling før senere prosessering av biomasse. Dette har blitt testet av Black (1955) (fig. 12). Nyere ensileringsmetoder omfatter tilsetning av melkesyrebakterier som vil initiere fermenteringsprosessen under anoksi og føre til senkning av biomassens pH (Wout et al., 2013). Prosessen kan støttes av enzymer som produserer oppløselig sukker fra komplekse karbohydrater. Bruk av ensilering som konserveringsmetode for utvinning av alginat har vist å gi høyere utbytte. Det høyere utbyttet ble oppnådd grunnet bruk av hele fingertareblad fremfor hakket biomasse der en får tap av komponenter gjennom snittflatene (Perez, 1969). Ensileringsbehandling vil også være gunstig når ferskt råstoff ønskes fremfor tørket biomasse i prosessering av et bestemt produkt.



Figur 12: Eksperimentell ensileringsssystem fra Black (1955). 1: metallisk lokk, 2: komprimert jord lag, 3: hakket stortare.

Vasking med sjøvann ofte brukes for å fjerne partikler og organiske materiale fra høstede makroalger før prosessering. En slik forbehandling medfører tap av vannløselige komponenter som karbohydrater og mineraler. Dette kan være fordelaktig ved protein utvinning og vil gi større utbytter og øke fordøyelighet (Fleurence, 2004). Derimot kan vaskebehandling betydelig redusere innhold i verdifulle komponenter i brunalger som f.eks. laminarin (Adams et al., 2015), fucoidan og alginat (Kuda et al., 2002). Liot et al. (1993) observerte raskere forringelse av både søl (*Palmaria palmata*) og havsalat (*Ulva lactuca*) skyllet med ferskvann sammenlignet med sjøvann, på grunn av raskere bakteriell oppblomstring.

En annen forbehandling kan være maling av råmaterialet. Maling av makroalgebiomasse kan gi en rekke fordeler ved at det forenkler materialets innpakning, og transport, samt gir større utbytte ved senere utvinning av enkelte komponenter. Maleprosessen kan enten bli gjennomført på våt- eller tørket biomasse. Ved maling av våt biomasse er industrielle kverner og hakkemaskiner spesielt godt egnet for å redusere makroalgefragmenter ned til noen få millimeter. Møller utstyrt med kniv er den vanligste metoden for maling av tørrstoff. Under malingsprosessen vil den høye mekaniske energien bidra til økning i temperatur. Derfor vil nedkjøling av prosessen med bruk av f. eks. flytende nitrogen være viktig for å begrense temperaturstigning og bevare aktive komponenter.

Forbehandling av biomasse kan føre til raskere tørkeprosesser men vil også påvirke produktets sammensetning. Systematisk testing av ensilering, skylling og kutting/maling av tarebiomasse er derfor ønsket for å kunne vurdere fordeler og ulemper ved implementering av slike behandlinger i f. eks en bioraffineri prosess.

#### 4.2. TØRKING

Ut fra gjeldende litteratur, kan det se ut som tørking ved lav temperatur (50°C og under) egner seg best til primærprosessering av makroalger der komponenter som proteiner, pigmenter og sensorisk egenskaper essensielle i sluttproduktet. Slike skånsom behandling brukes på Island (Mouritsen, 2013) i Frankrike (Person, 2011) for tørking av søl, butare og sukkertare, og i Japan for kombu (*Laminaria japonica*) eller produksjon av nori (*Porphyra* spp.) (Mouritsen, 2013). Prosessering til matindustrien vil innebære særkrav til produkt og samtidig tilfredsstillende gjeldende regelverk for matproduksjon (Lov om matproduksjon og mattrygghet). Høyere tørketemperatur (70°C og oppover) vil kunne brukes til alginatproduksjon og dermed prosesseres/tørkes raskt, noe som er viktig i behandling av store volum. Videre undersøkelser og tester av ulike tørkemetoder må til for å finne optimale prosesser som i størst mulig grad ivaretar de kvalitetene man ønsker i forhold til sluttprodukt og bruksområde.

I en forretningsmodell vil energikostnader forbundet med tørkeprosessen være en avgjørende faktor når teknologi og metode skal velges. Dette vil avhenge i stor grad av energiforbruk der enkelte tørketeknikker er mer energieffektive enn andre f. eks. infrarødtørking (Krishnamurthy et al., 2008). Andre elementer som resirkulering av varmluft og/eller justering av tørkekammerets luftavtrekk i henhold til produktets fuktighet vil redusere energikostnader.

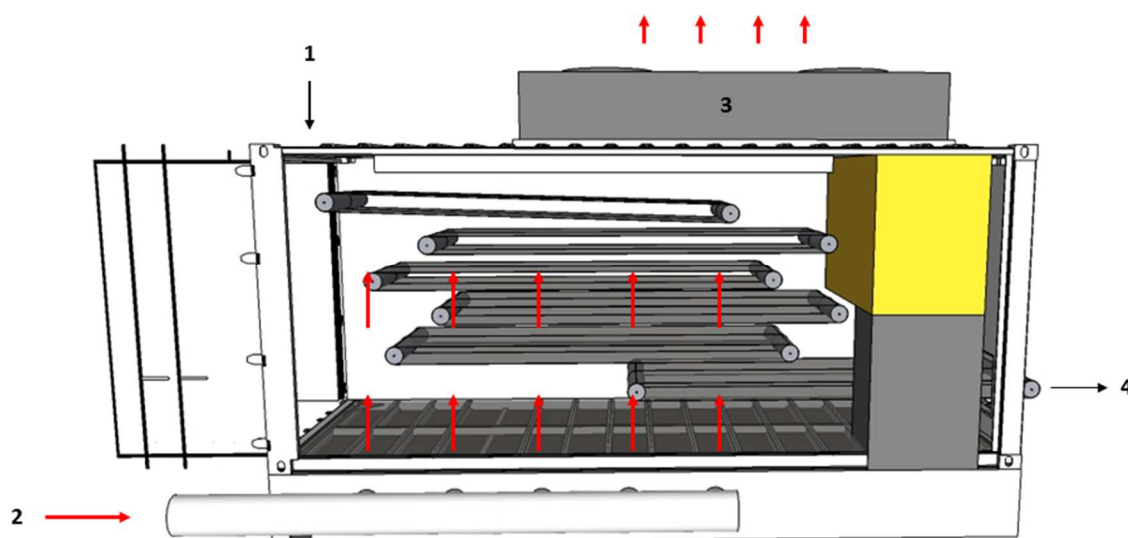
Energikostnader kan reduseres ved å utnytte spillevarme fra industri som energikilde. Det finnes flere samarbeidseksempler i Norge mellom industriaktører, energi leverandører og kommuner på gjenvinning av energi fra industrielle prosesser. I Møre & Romsdal kan det utnyttes spillvarme fra flere industrielle aktører der Shell sitt gassanlegg i Nyhamna på Aukra og Tafjord Kraftvarme sitt forbrenningsanlegg i Ålesund er aktuelle. Ved Nyhamna produseres det overskuddsenergi tilsvarende 2,7 TWh/år som i dag slippes ut rett i sjøen. En utredningsprosess er i gang og vil legge til rette utnyttelsen av spillvarme til biologisk produksjon som f. eks. plantedyrking i drivhus eller fiskeoppdrett i tank samt andre industrielle aktiviteter. Tafjord Kraftvarme AS har utviklet et nettverk for fjernvarme distribusjon i området. Det produseres i dag ca. 100 GWh/år spillvarme i løpet av sommerhalvåret, som må kjøles ned fordi det pr. i dag ikke nok brukere av varmen. Det blir derfor



sett på muligheter for et eventelt pilottørkeanlegg for makroalger med bruk av spillvarme fra Tafjord. Anleggets beliggenhet i Breivika med tilhørende dyphavskai, er fordelsmessig i forbindelse med høsting og transport.

### 4.3. PILOTANLEGG

Prosjektgruppen inkluderte utstyrleverandør R-Container som har interesse i å videreutvikle og tilby tørkeprosesseringsanlegg. R-Container er en totalleverandør av modul- og containerbaserte prosjekter, og tilbyr unike løsninger tilpasset kundens behov. En containerbasert tørkeanlegg har den fordel å være kompakt og fleksibelt, med relativt lite energibruk og krav for vedlikehold. Systemet kan automatiseres for å redusere behov for tilsyn under drift. Container kan innredes med ulike tørketeknologi tilpasset energibehov og krav til sluttprodukt. Følgende tegning (fig. 13) viser et alternativ hvor containeren er utstyrt med transportbelter og tilkoblet varmluft. Tørkeparametere som lufttemperatur, lufthastighet og rullebåndshastighet vil kunne reguleres.



Figur 13: Flerbelt tørkesystem i en tilpasset container. 1: våt biomasse inn, 2: varmluftinngang, 3: vifte suger luften ut, 4: tørket biomasse ut.

Videreføring av dette forprosjektet og utredning av forbehandlinger og tørkemetoder med praktiske forsøk og analyser vil skje gjennom det internasjonale og tverrfaglige prosjektet PROMAC (Energieffektiv prosessering av makroalger i blå-grønne verdikjeder). Prosjektet fokuserer på energieffektiv prosessering og raffinering av makroalger til menneskemat og dyrefôr, inkludert en logistisk og økonomisk analyse av verdikjeden og livsløpsvurdering av produkter.

---

## 5. KONKLUSJON

---

- Tørking stabiliserer makroalgebiomasse men vil også påvirke produktets sammensetning. Tørkeparametere og teknologi må velges i henhold til ønskede kvalitet i sluttprodukt.
- Tilhørende prosesser til tørking som f.eks. vasking, lagring og kutting kan tilrettelegge prosessering av makroalgebiomasse med vil også påvirke kvalitet på produktet.
- Skånsom behandling ved lav temperatur (under 50°C) gir bedre sensoriske egenskaper og egner seg derfor ved bruk av råstoff som mat til konsum
- Tørking ved høyere temperatur (70°C og oppover) brukes ofte der store biomassevolumer må prosesseres raskt.
- I en forretningsmodell vil energikostnader bety mye. Enkelte tiltak vil kunne redusere kostnader betydelige:
  - Bruk av energieffektiv teknologi
  - Prosesseringsutstyr med lav behov for vedlikehold
  - Bruk av spillevarme fra industri
- Effekt av ulike prosesseringsmetoder på tang- og tareprodukt egenskaper skal testes videre gjennom det tverrfaglige prosjektet PROMAC.

---

## REFERANSER

---

Adams, J. M. M., Schmidt, A. and Gallagher, J. A. (2015). The impact of sample preparation of the macroalgae *Laminaria digitata* on the production of the biofuels bioethanol and biomethane. *Journal of Applied Phycology* **27**(2): 985-991.

Afzal, T. M., Abe, T. and Hikida, Y. (1999). Energy and quality aspects during combined FIR-convection drying of barley. *Journal of Food Engineering* **42**(4): 177-182.

Allen, V. G., Pond, K. R., Saker, K. E., Fontenot, J. P., Bagley, C. P., Ivy, R. L., Evans, R. R., Schmidt, R. E., Fike, J. H., Zhang, X., Ayad, J. Y., Brown, C. P., Miller, M. F., Montgomery, J. L., Mahan, J., Wester, D. B. and Melton, C. (2001). Tasco: Influence of a brown seaweed on antioxidants in forages and livestock. A review. *Journal of Animal Science* **79**: E21-E32.

Black, W. A. P. (1955). The preservation of seaweed by ensiling and bactericides. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **6**(1): 14-23.

Boeh-Ocansey, O. (1984). Effects of Vacuum and Atmospheric Freeze-Drying on Quality of Shrimp, Turkey Flesh and Carrot Samples. *Journal of Food Science* **49**(6): 1457-1461.

Chan, J. C. C., Cheung, P. C. K. and Ang, P. O. (1997). Comparative Studies on the Effect of Three Drying Methods on the Nutritional Composition of Seaweed *Sargassum hemiphyllum* (Turn.) C. Ag.†. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **45**(8): 3056-3059.

Chapman, A., Stévant, P. and Emblem Larssen, W., (2015). Potensial for makroalger som mat i en nordisk sammenheng. Møreforskning rapport MA 15-06, <http://www.moreforsk.no/publikasjoner/rapporter/marin/potensial-for-makroalger-som-mat-i-en-nordisk-sammenheng/1074/2892/>,

Chapman, A., Stévant, P., Schipper, J., Kråkås, Ø., Aspøy, B. and Stavland, A., (2014). Markedsvurdering for bærekraftig algedyrking i Integrert Multitrofisk Akvakultur (IMTA)-anlegg. Møreforskning rapport MA-14-15, <http://www.moreforsk.no/publikasjoner/rapporter/marin/markedsvurdering-for-barekraftig-algedyrking-i-integrert-multitrofisk-akvakultur-imta-anlegg/1074/2683/>,

Chen, X. D. (2008). Food drying fundamentals. In X.D. Chen and A.S Mujumdar Eds, *Drying technologies in food processing*. John Wiley & Sons: 1-52.

Das, I., Das, S. K. and Bal, S. (2009). Drying kinetics of high moisture paddy undergoing vibration-assisted infrared (IR) drying. *Journal of Food Engineering* **95**(1): 166-171.

Di Matteo, P., Donsi, G. and Ferrari, G. (2003). The role of heat and mass transfer phenomena in atmospheric freeze-drying of foods in a fluidised bed. *Journal of Food Engineering* **59**(2-3): 267-275.

FAO Fisheries and Aquaculture Department, (2014). The state of world fisheries and aquaculture. <http://www.fao.org/3/a-i3720e.pdf>,

Fellows, P. (2009). *Food processing technology: principles and practice*, Elsevier.

- Fleurence, J. (2004). Seaweed proteins. In Yada R.Y. (ed), Proteins in food processing. Woodhead publishing, Cambridge: 197-213.
- Garau, M. C., Simal, S., Rosselló, C. and Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. Food Chemistry **104**(3): 1014-1024.
- Grizotto, R. K. and de Aguirre, J. M. (2011). Study of the flash drying of the residue from soymilk processing - "okara". Ciência e Tecnologia de Alimentos **31**(3): 645-653.
- Gupta, S., Cox, S. and Abu-Ghannam, N. (2011). Effect of different drying temperatures on the moisture and phytochemical constituents of edible Irish brown seaweed. LWT - Food Science and Technology **44**(5): 1266-1272.
- Görgens GmbH. 26.05.2015, from <http://www.mahltechnik-goergens.de/index.php/turborotor-63.html>.
- Hallsson, S. V. (1992). Drying of seaweeds by geothermal heat in Iceland. Geothermics **21**(5/6): 717-731.
- Holdt, S. L. and Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. Journal of Applied Phycology **23**(3): 543-597.
- Jaturonglumlert, S. and Kiatsiriroat, T. (2010). Heat and mass transfer in combined convective and far-infrared drying of fruit leather. Journal of Food Engineering **100**(2): 254-260.
- Jensen, A. (1960). Produksjon av tangmel, N. T. H. Trykk.
- Jensen, A. (1993). Present and future needs for algae and algal products. In A.R.O. Chapman, M.T. Brown and M. Lahaye Eds, Fourteenth International Seaweed Symposium. Springer Netherlands. **85**: 15-23.
- Kandasamy, S., Khan, W., Evans, F., Critchley, A. T. and Prithiviraj, B. (2012). Tasco(R): a product of *Ascophyllum nodosum* enhances immune response of *Caenorhabditis elegans* against *Pseudomonas aeruginosa* infection. Mar Drugs **10**(1): 84-105.
- Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Soojin, J., Irudayaraj, J. and Demirci, A. (2008). Infrared Heating in Food Processing: An Overview. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety **7**(1): 2-13.
- Kuda, T., Taniguchi, E., Nishizawa, M. and Araki, Y. (2002). Fate of Water-Soluble Polysaccharides in Dried *Chorda filum* a Brown Alga During Water Washing. Journal of Food Composition and Analysis **15**(1): 3-9.
- Kuda, T., Tsunekawa, M., Goto, H. and Araki, Y. (2005). Antioxidant properties of four edible algae harvested in the Noto Peninsula, Japan. Journal of Food Composition and Analysis **18**(7): 625-633.
- Lee, S.-H. and Jeon, Y.-J. (2010). Effects of far infrared radiation drying on antioxidant and anticoagulant activities of *Ecklonia cava* extracts. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry **53**(2): 175-183.
- Liapis, A. I. and Bruttini, R. (2014). Freeze drying. In A. S. Mujundar (ed), Handbook of Industrial Drying. Fourth. Ed. CRC Press, New York and Basel: pp. 257-283.

- Lin, Y.-P., Tsen, J.-H. and King, V. A.-E. (2005). Effects of far-infrared radiation on the freeze-drying of sweet potato. *Journal of Food Engineering* **68**(2): 249-255.
- Ling, A. L. M., Yasir, S., Matanjun, P. and Abu Bakar, M. F. (2014). Effect of different drying techniques on the phytochemical content and antioxidant activity of *Kappaphycus alvarezii*. *Journal of Applied Phycology*.
- Liot, F., Colin, A. and Mabeau, S. (1993). Microbiology and storage life of fresh edible seaweeds. *Journal of Applied Phycology* **5**(2): 243-247.
- Meland, M. and Rebours, C., (2012). The Norwegian seaweed industry. NETALGAE project report, WP 1&2. Bioforsk –Norwegian Institute for Agricultural and Environmental Research.
- Mesnildrey, L., Jacob, C., Frangoudes, K., Reunavot, M. and Lesueur, M., (2012). La filière des macroalgues en France. Rapport D'étude Netalgae - Interreg Ivb, Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST, no. 39, 38p.
- Mouritsen, O. G. (2013). Seaweed: edible, available and sustainable.
- Naylor, J. (1976). Production, trade and utilization of seaweeds and seaweed products. In FAO technical papers. Food and Agriculture Organisation of United Nations, Rome, Italy. **No. 159**: 1-71.
- Norwegian seaweeds network. from <http://seaweeds.uib.no/>.
- Nowak, D. and Lewicki, P. P. (2004). Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **5**(3): 353-360.
- Olafsen, T., Winther, U., Olsen, Y. and 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).
- Perez, R. (1968). La conservation et le stockage des laminaires. *Bull. Inst. Pêches marit.* **171**.
- Perez, R. (1969). Influence du mode de conservation des laminaires sur les qualités de l'acide alginique. *Science et Pêche* **187**: 1-11.
- Person, J. (2011). Algues. filière du futur - Livre turquoise. Romainville, Creative Commons BY-NC-SA.
- Ponmari, G., Sathishkumar, R. and Lakshmi, P. T. V. (2011). Effects of drying treatments on the content of antioxydants in *Cardiospermum halicacabum* Linn. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* **2**(1): 304-313.
- Ragan, M. A. and Glombitza, K. W. (1986). Phlorotannins, brown algal polyphenols. In F.E. Round and D.J. Chapman Eds, *Progress in phycological research*. Biopress Ltd, Bristol. **4**: 130-230.
- Rajauria, G., Jaiswal, A. K., Abu-Ghannam, N. and Gupta, S. (2010). Effect of hydrothermal processing on colour, antioxidant and free radical scavenging capacities of edible Irish brown seaweeds. *International Journal of Food Science & Technology* **45**(12): 2485-2493.
- Ratti, C. and Mujumdar, A. S. (2014). Infrared Drying. In *Handbook of Industrial Drying*, Fourth Edition. CRC Press: 405-420.

- Rey, L. (2004). Glimpses into the Realm of Freeze-Drying. In J.C May and L. Rey Eds, Freeze-Drying/Lyophilization Of Pharmaceutical & Biological Products, Third Edition. Informa Healthcare.
- Rueness, J. (1998). Alger i farger. En felthåndbok om kystensmakroalger. Oslo, Almater Forlag.
- Sakai, N. and Hanzawa, T. (1994). Applications and advances in far-infrared heating in Japan. Trends in Food Science & Technology **5**(11): 357-362.
- Sandu, C. (1986). Infrared Radiative Drying in Food Engineering: A Process Analysis. Biotechnology Progress **2**(3): 109-119.
- Schmid, D., Schürch, C. and Züllli, F., (2006). Mycosporine-like Amino Acids from Red Algae Protect against Premature Skin-Aging. Euro Cosmetics: Euro Cosmetics.
- Sharma, A. and Kapoor, A. C. (1997). Effect of processing on the nutritional quality of pearl millet. Mysore, INDIA, Association of Food Scientists and Technologists.
- Sharma, G. P., Verma, R. C. and Pathare, P. B. (2005). Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. Journal of Food Engineering **67**(3): 361-366.
- Skjermo, J., Aasen, I. M., Arff, J., Broch, O. J., Carvajal, A., Christie, H., Forbord, S., Olsen, Y., Reitan, K. I., Rustad, T., Sandquist, J., Solbakken, R., Steinhovden, K., Wittgens, B., Wolff, R. and 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,
- Steen, H. (2005). Høsting av tang og tare – økologisk uforsvarlig eller bærekraftig ressursbruk? In Kyst og havbruk 2005. Havforskningsinstituttet: 52-54.
- Strømmen, I., Alves-Filho, O. and Eikevik, T. (2005). Atmospheric freeze drying with heat pumps- A new alternative for high quality dried food products. 3rd Nordic Drying Conference, Karlstad, Sweden.
- Tello-Ireland, C., Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., López, J. and Di Scala, K. (2011). Influence of hot-air temperature on drying kinetics, functional properties, colour, phycobiliproteins, antioxidant capacity, texture and agar yield of alga *Gracilaria chilensis*. LWT - Food Science and Technology **44**(10): 2112-2118.
- Walsh, M. and Watson, L., (2011). A Market Analysis towards the Further Development of Seaweed Aquaculture in Ireland. Bim: BIM.
- Wang, T., Jónsdóttir, R., Liu, H., Kristinsson, H. G., Raghavan, S. and Ólafsdóttir, G. (2012). Antioxidant capacities of phlorotannins extracted from the brown algae *Fucus vesiculosus*. Journal of Agricultural and Food Chemistry **60**: 5874-5883.
- Wang, T., Jónsdóttir, R. and Ólafsdóttir, G. (2009). Total phenolic compounds, radical scavenging and metal chelation of extracts from Icelandic seaweeds. Food Chemistry **116**(1): 240-248.
- Wong, K. F. and Cheung, P. C. (2001a). Influence of drying treatment on three *Sagassum* species 1. Proximate composition, amino acid profile and some physico-chemical properties. Journal of Applied Phycology **13**: 43-50.

Wong, K. F. and Cheung, P. C. (2001b). Influence of drying treatment on three *Sagassum* species 2. protein extractability, in vitro protein digestability and amino acid profile of protein concentrates. *Journal of Applied Phycology* **13**: 51-58.

Wout, R., Greenwell, H., Davies, D. and Theodorou, M. (2013). Methods of ensiling algae, ensiled algae and uses of ensiled algae, Google Patents.

Zemke-White, L. and Ohno, M. (1999). World seaweed utilization: an end-of-century summary. *Journal of Applied Phycology* **11**: 369-376.







## MØREFORSKING

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

