

Tørking av marint råstoff med overhetet damp

Fase 1 – Kunnskapsstatus

Tor Andreas Samuelsen, Øistein Høstmark og Åge Oterhals





Nofima er et næringsrettet forskningsinstitutt som driver forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 350 ansatte.

Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på seks ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra og Tromsø

Hovedkontor Tromsø:

Muninbakken 9–13
Postboks 6122 Langnes
NO-9291 Tromsø

Ås:

Osloveien 1
Postboks 210
NO-1431 ÅS

Stavanger:

Måltidets hus, Richard Johnsensgate 4
Postboks 8034
NO-4068 Stavanger

Bergen:

Kjerreidviken 16
Postboks 1425 Oasen
NO-5828 Bergen

Sunndalsøra:

Sjølseng
NO-6600 Sunndalsøra

Felles kontaktinformasjon:

Tlf: 02140
E-post: post@nofima.no
Internett: www.nofima.no

Foretaksnr.:

NO 989 278 835

Rapport

	ISBN: 978-82-8296-297-1 (trykt) ISBN: 978-82-8296-298-8 (pdf) ISSN 1890-579X
<i>Tittel:</i> Tørking av marint råstoff med overhetet damp Fase 1 - Kunnskapsstatus	<i>Rapportnr.:</i> 23/2015 <i>Tilgjengelighet:</i> Åpen
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Tor Andreas Samuelsen, Øistein Høstmark & Åge Oterhals	<i>Dato:</i> 11. mai 2015
<i>Avdeling:</i> Ernæring og fôrteknologi	<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 25
<i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> Stein Ove Østvik / 900948
<i>Stikkord:</i> Varmefølsomme produkter, proteinkvalitet, energibesparelse, pilotanlegg	<i>Prosjektnr.:</i> 10749
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i>	
<p>Fiskemel- og fiskeoljeproducentene er sammen med andre aktører innen norsk marin ingrediensindustri interessert i å utrede bruk av overhetet damp for tørking av marint råstoff. Dette prosjektet har som målsetning å etablere kunnskapsstatus for tørketeknologi basert på overhetet damp, vurdere alternative tørkedesign og forprosjekttere et pilotskala forsøksanlegg.</p> <p>Det finnes flere ulike typer varmluftstørker som kan konverteres til bruk med SHS, som trommel-, mølle-, ring-, belte-, batch- og fluid bed tørke. I prosjektet er det utført en spørreundersøkelse blant 16 aktuelle leverandører om interesse og erfaring innen tørking av varmesensitive produkter. Fra undersøkelsen ble trommel-, mølle- og ringtørke valgt ut som de mest interessante designene og fire leverandører valgt for ytterligere vurdering.</p> <p>Kunnskapsstatus innen tørking av varmesensitive produkter og fiskemel spesielt er kort oppsummert i rapporten. Generelt er det liten kunnskap hos leverandørene og få publiserte studier på bruk av overhetet damp til tørking av marine produkter og følgende kunnskapshull er identifisert knyttet til de aktuelle tørkedesignene:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Trommeltørke – tap av biologisk fordøyelig protein, fibrighet og lav bulk tetthet på melet. 2. Mølletørke – Driftsproblemer knyttet til fettslipp i tørkesonen, klogging av filter ved høyt fettnivå i melet, fibrighet og lav bulk tetthet. Mølletørken fungerer uten tap av biologisk fordøyelig protein. 3. Ringtørke – tap av biologisk fordøyelig protein, driftsproblemer knyttet til klogging av rør grunnet fettslipp, fibrighet og lav bulk tetthet. <p>Priser på aktuelle pilotanlegg er innhentet, men det anbefales å utføre tester hos leverandører av trommel og ringtørke før endelig beslutning om etablering av et pilotanlegg. De supplerende undersøkelsene vil gi et klart sikrere grunnlag for valg av tørkedesign i prosjektets fase 2 og behov for eventuell etablering av et pilotanlegg. Et testanlegg i Norge anbefales installert på en fiskemelfabrikk. Dette vil gi mulighet til å kjøre parallelle tørkeforsøk og direkte sammenligning av melkvalitet basert på dagens varmluftstørke. Plasseringen vil også gi mulighet for å kjøre tester med og uten fortørking på damp tørke og lengre produksjonsserier for å evaluere robusthet og eventuelle driftstekniske problemer.</p>	

Innhold

1	Introduksjon	1
1.1	Målsetning.....	1
2	Tørkeprinsipp.....	2
2.1	Bruksområder, varmesensitive produkter	3
3	Tørketyper og leverandører.....	5
3.1	Mølletørke	5
3.2	Ringtørke	7
3.3	Roterende trommeltørke	7
3.4	Beltetørke	8
3.5	Mekanisk fluidisering.....	9
3.6	Brett-tørke	9
3.7	Spouted bed	10
4	Forsøk utført ved Nofima	11
5	Leverandørundersøkelse	13
5.1	Mølletørke	13
5.2	Ringtørke	13
5.3	Roterende trommeltørke	14
5.4	Beltetørke	14
5.5	Mekanisk fluidisering.....	14
5.6	Brett-tørke	14
5.7	Spouted bed	14
6	Oppfølging av prioriterte leverandører	16
6.1	DUPPS.....	16
6.2	Jäckering.....	16
6.3	SWISS COMBI/DEDERT	17
6.4	GEA Barr-Rosin	18
7	Vurdering av teknologier og alternative pilotanlegg.....	19
7.1	Trommeltørke (DUPPS)	19
7.2	Trommeltørke (SWISS COMBI)	19
7.3	Mølletørke (Jäckering).....	19
7.4	Ringtørke (SWISS COMBI/DEDERT)	20
7.5	Ringtørke (GEA Barr-Rosin)	21
8	Valg av teknologi og etablering av pilot anlegg	22
8.1	Oppsummering og konklusjon.....	23
9	Referanser	24

1 Introduksjon

Valg av tørketeknologi er en sentral kostnads- og kvalitetsfaktor for produksjon av tørre produkter innen marin ingrediensindustri. Dette gjelder for produkter innen både fôr og human-markedet. Varmluftstørker (konveksjonstørker) gir normalt lavere temperaturbelastning på produktet sammenlignet med indirekte damptørker (kontaktstørker). Dette resulterer i en høyere proteinkvalitet for førstnevnte (biologisk fordøyelig protein) og mindre risiko for fargeendringer i produktet. Ulempen er at varmluftstørker har et høyere spesifikt energiforbruk som følge av at det ikke er regningssvarende å gjenvinne energien i tørkeluften fra tørken. I dag brukes det stort sett varmluftstørker ved fremstilling av fiskemel i Norge, alternativt med bruk av indirekte damptørker som fortørke. Tørkeprosessen står alene for 50 % av totalt energiforbruk i fiskemellprosessen (Flesland *et al.* 1998).

Fiskemel- og fiskeoljeprodusentene er sammen med andre aktører innen norsk marin ingrediensindustri interessert i å utrede bruk av overhetet damp for tørking av marint råstoff. Fordelen med å erstatte luft med overhetet damp som tørkemedium er at avgassen vil være i form av vandamp som kan benyttes direkte som drivdamp på inndamper eller til oppvarming av råstoffet. Dette vil kunne gi en energibesparelse på 30-50 % på en fiskemelfabrikk avhengig av muligheter for varmeintegrering i prosessen (Flesland *et al.* 2000). I tillegg til en kraftig reduksjon i energiforbruket vil man også eliminere eksplosjonsfaren ved varmluftstørking, bedre hygien og redusere utslipp av støv og lukt til nærmiljøet. Ulempen vil være en høyere temperaturbelastning på produktet, noe som kan skade proteinet, gi redusert biologisk fordøyelig protein og smaks- og fargeendringer (Samuelsen, Nofima, upubliserte data).

1.1 Målsetning

Prosjektet er delt inn i 2 hovedfaser:

Fase 1 har som målsetning:

1. Etablere kunnskapsstatus for tørketeknologi basert på overhetet damp.
2. Velge beste teknologi for tørking av fiskemel og andre marine produkter.
3. Forprosjekttere pilotskala forsøksanlegg inklusiv utnyttelse av overskuddsdamp fra tørke.

Fase 2 har som målsetning:

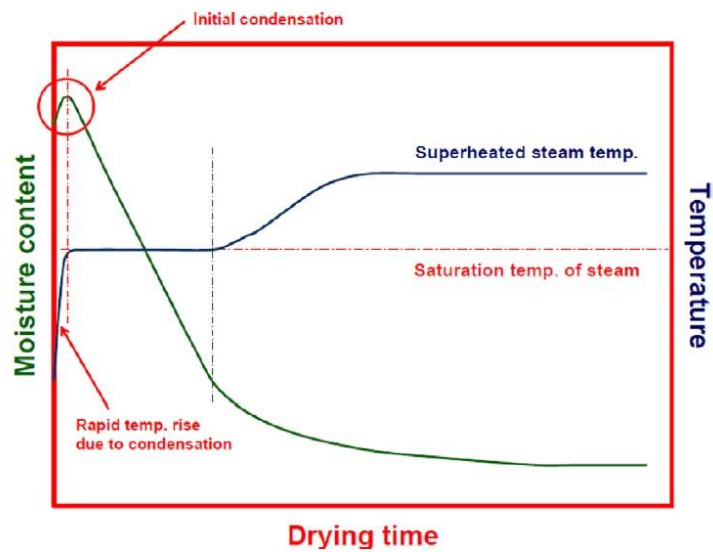
1. Etablere et pilotanlegg for tørking i overhetet damp.
2. Drifte og gjennomføre forsøk i testanlegget.
3. Opparbeide produkter for testing og analyser.

Fase 1 og 2 skal gi grunnlag for oppskalering i industriell skala.

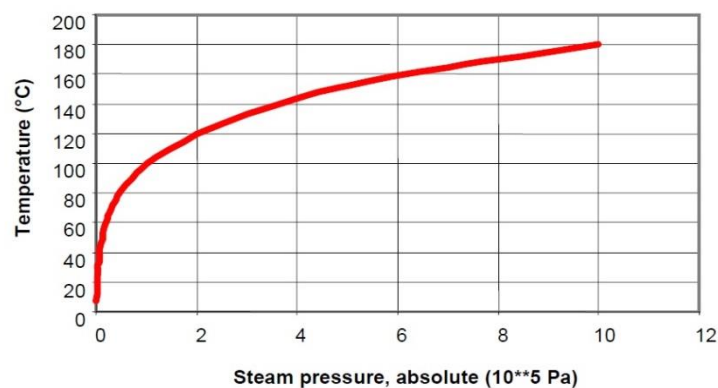
Denne rapporten omhandler fase 1 av prosjektet.

2 Tørkeprinsipp

Tørking i overhettet damp (SHS tørking) er en tørkemethode hvor tørkegodset er i direkte kontakt med vanddamp ved temperatur over kondenserings-temperaturen. Tørkene opereres vanligvis atmosfærisk eller med overtrykk, men for varmesensitive produkter kan det også anvendes vakuum. Figur 1 viser et typisk tørkeforløp ved bruk av SHS der produkttemperaturen øker raskt i starten grunnet kondensering av damp på produktet. Tørking starter når produktet når metningstemperaturen til dampen ved det gitte trykket. Produkttemperaturen videre i tørkeforløpet vil være avhengig av trykk, partikkelstørrelse, tørkekinetikk i det konstante og fallende området, og utløpstemperatur for dampen. Anvendes overtrykk vil det medføre at tørkegodset får ha en temperatur høyere enn 100 °C (Figur 2).

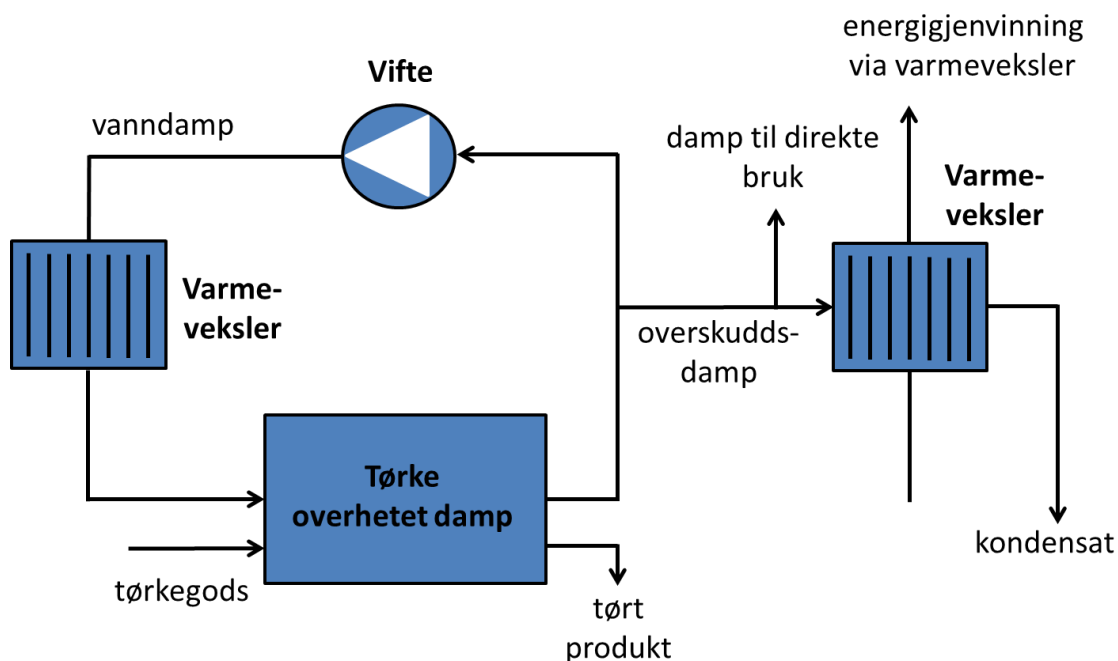


Figur 1 Tørkeforløp ved bruk av overhettet damp (Niamnuy et al. 2014). Fuktnivå (grønn kurve), produkttemperatur (blå kurve)



Figur 2 Produkttemperatur som en funksjon av damptrykket (van Deventer 2004)

Dette vil kunne skade proteinet og gi en reduksjon i biologisk fordøyelig protein (Opstvedt *et al.* 2003). Reduksjon av biologisk fordøyelig protein kan forhindres med en kort oppholdstid i tørken (Høstmark *et al.* 2002; Høstmark & Flesland 2005). Dette krever relativt høy hastighet på dampen og at tørkegodset er formalt i mindre partikler. En må også sørge for at dampen ut av tørken har en høyere temperatur enn kondenserings-temperaturen. Dette for å hindre kondensering i tørke og på tørkegodset. Anlegget må også gjøres tett for å unngå innsuging av falsk luft som vil redusere dampens metningstemperatur og begrense anvendelsesområdet. Figur 3 viser en prinsippskisse for SHS tørking med varmegjenvinning. Overhettet damp sirkuleres og oppvarmes i et lukket system. Damp tilsvarende avdampet vann fra tørkegodset blir kontinuerlig fjernet fra systemet. Denne dampen vil være svakt overhettet (>110 °C) og kan brukes til gjenvinning av energi gjennom direkte bruk eller varmeveksling i andre prosessenheter.



Figur 3 Prinsippskisse for tørking i overhettet damp med varmegjenvinning (basert på Flesland *et al.* 1998; van Deventer 2004)

2.1 Bruksområder, varmesensitive produkter

En gjennomgang av kunnskap innen bruk av SHS tørking på varmesensitive produkter er nylig sammenfattet av Anto *et al.* (2014). Prinsipp, fordeler og begrensninger med overhett damp-tørking diskuteres med referanse til en rekke forsøk innen tørking av kjøtt, fisk, frukt, grønnsaker, melkeprodukter, frokostblandinger, bønner og krydder. SHS tørking under vakuum, SHS tørking i kombinasjon med konvensjonell ettertørking, og i kombinasjon med infrarød tørking er også diskutert. Typisk for forsøkene beskrevet at det tørkes med en innløpstemperatur lavere enn det som forventes å brukes under tørking av fiskemel (<185 °C mot >300 °C). Lavere temperatur i tilført damp til tørken resulterer i behov for høyere mengde pr. kg vann tørket. Dette vil kreve økt dimensjonering av tørkesystemet. I oppsummeringen er det kun nevnt et forsøk på SHS tørking av fisk, der presskake fra makrell ble tørket ved temperaturer i området 146-185 °C. Her konkluderes det med at en tørketid på 7,0 til 13,5 sekunder gir lite tap av omega-3 (1-3%, Bórquez 2003). I Wang *et al.* (2011) nevnes et forsøk utført på reker med SHS tørking ved temperaturer på 120-180 °C hvor reker tørket

med SHS krympet mindre og hadde en sterkere oransje/rød farge enn luft-tørkede reke (Prachayawarakorn *et al.* 2002). I artikkelen kommenteres det at det er få publiserte studier på bruk av overhettete damp til tørking av marine produkter og det uttrykkes generell bekymring vedrørende bruk av SHS tørking for varmesensitive produkter grunnet høy produkttemperatur (>100 °C). De foreslår bruk av redusert trykk for å få ned temperaturen. Anto *et al.* (2014) anbefaler SHS tørking ved temperaturer mellom 110-140 °C for å bevare produktkvaliteten.

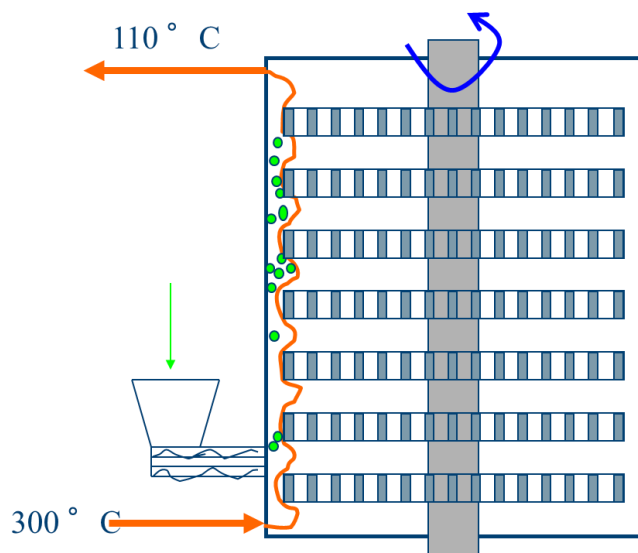
Det er utført forsøk på SHS tørking av fiskemel i Chile (Blasco & Alvarez 1999). Her ble det fokusert på modellering av tørkeforløpet og ikke produktkvalitet som biologisk fordøyelig protein. Erfaring fra spørreundersøkelsen (jfr. under 5.0) viser at det er lite kunnskap om SHS tørking av marine produkter hos leverandørene. Eneste unntak er DUPPS som har storskala SHS tørking på fiskemelsfabrikk i USA (jfr. under 6.1). Andre leverandører har kunnskap rundt SHS tørking av varmesensitive produkter som for eksempel mais- og hvetegluten, stivelse, alge og DDGS. Nofima i Bergen (tidligere SSF og Fiskeriforskning avd. Bergen) har arbeidet med SHS tørking av varmfølsomme marine råstoffer i en årrekke (Flesland 1998 a,b; Flesland *et al.* 1998; 1999; 2000; Høstmark *et al.* 2001; 2002; Høstmark 2003; Høstmark & Flesland 2005; Høstmark *et al.* 2009; Nygaard *et al.* 1999; Nygaard & Høstmark 2008) og det er trolig Nofima som sitter på den største prosessstekniske kunnskapsbasen rundt SHS tørking av marint råstoff og fiskemel.

3 Tørketyper og leverandører

Det finnes flere ulike typer varmluftstørker som kan konverteres til bruk med SHS. Dette kapitlet gir en oppsummering over alternative tørkedesign og aktuelle leverandører.

3.1 Mølletørke

Mølletørke er en type flash-tørke hvor tørkegodset blir formalt og tørket i en operasjon. Dette foregår i disker som roterer med høy hastighet. Tørking og formaling til fine partikler skjer meget raskt (ca. 2 sekunder gjennom tørken og totalt ca. 10 sekunder gjennom tørke og filtersyklon). Tørken kan dermed kjøres med høy innløpstemperatur. Figur 4 viser en prinsippskisse for bruk av mølletørke med SHS hvor innløps- og utløpstemperaturen på dampen er hhv. 300 °C og 110 °C. For å hindre luft i dampen kan man evt. mate tørkegodset gjennom en skrupresse rett inn i formalingssonen.



Figur 4 Prinsippskisse for bruk av mølletørke med SHS

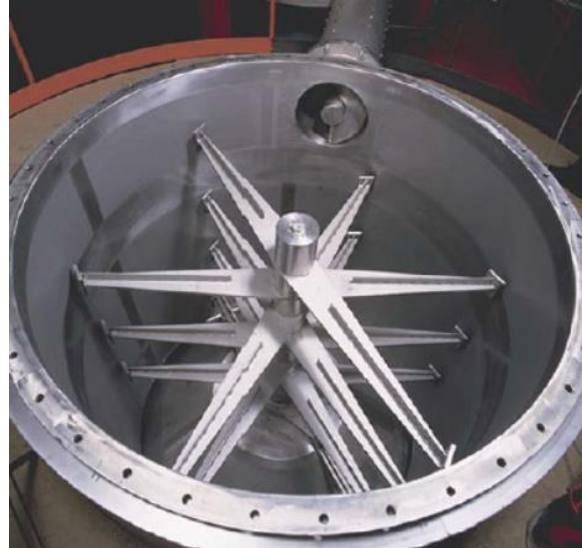
Det finnes mange leverandører av mølletørker. Alle kjøres ved atmosfærisk trykk eller et svakt overtrykk i tørkesonen. Under er det listet opp flere aktuelle:

1. Jäckering (Tyskland), Ultra-rotor
2. Hosokawa (Holland), Drymaster og LGM
3. Kix (Australia)
4. ATRITOR (UK), Cell Mill
5. Görgens (Tyskland)
6. VOMM Turbo Technology (Italia)
7. AST Dryer (USA, ATRITOR europeisk agent)
8. SPX Flow Technology (Danmark), Anhydro Spin Flash dryer

Selv om tørkeprinsippet er det samme kan tørkene ha ulik innmat som vist i Figur 5 a-c. En Jäckering Ultra-rotor mølletørke (Figur 5a) som kan bygges om til å tørke fiskemel med SHS finnes installert i pilotanlegget ved Nofima i Bergen.



a)



b)



c)

Figur 5 Eksempel på utforming av innmat i mølletørker. a) Ultra-rotor (Høstmark & Flesland 2005); b) Anhydro spin flash dryer (SPX Flow Technology); c) Drymaster (Hozokawa). Bilder (b, c) hentet fra leverandørens respektive nettsider

3.2 Ringtørke

Ringtørke er en type flash-tørke hvor tørkegodset blandes med SHS i en venturi og slynges medstrøms dampen i en tøke-loop. Før tørkegodset går inn i selve ringtørken blir tørkegodset matet via en horisontal mikser til en disintegrator (hammermølle) hvor tørkegodset knuses til mindre partikler. Retur av tørkegods til mikseren oppnås i tøke-loopen ved hjelp av sentrifugalkraften. Oppholdstiden i tørken er ca. 5 sekunder. Tørken kan kjøres atmosfærisk eller med overtrykk. Eksempel på layout av en ringtørke er gitt i Figur 6.

Under er det listet opp aktuelle leverandører:

1. GEA Barr-Rosin (UK), atmosfærisk/overtrykk
2. SPE-group (Tyskland), overtrykk 0,5 bar
3. Drytec (UK/USA), atmosfærisk/overtrykk
4. SWISS COMBI/DEDERT (Sveits/USA), atmosfærisk/overtrykk



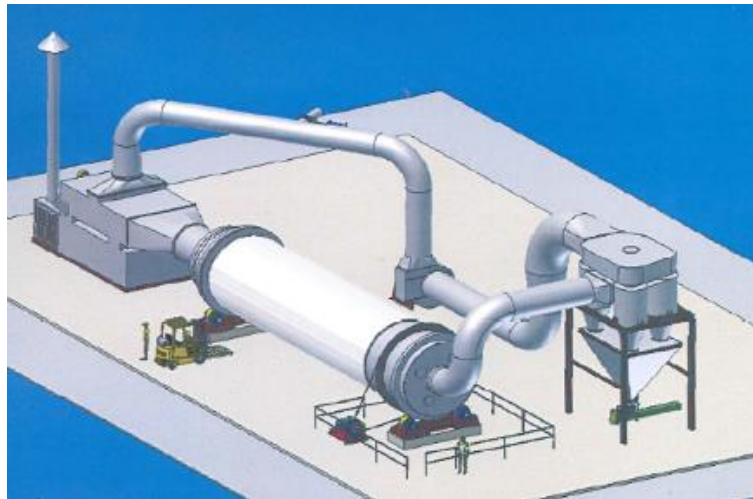
Figur 6 Eksempel på layout av en ringtørke (GEA Barr-Rosin)

3.3 Roterende trommeltørke

Roterende SHS trommeltørke er i prinsippet en tradisjonell trommel med kryssribber tilpasset til bruk med SHS (Figur 7). For å hindre luft i dampen anvendes mateskuer med lett kompresjon av massen inn på trommelen (presser ut luft). Oppholdstiden i tørken er indikert til å være <10 minutter (informasjon fra SWISS COMBI og DUPPS).

Under er det listet opp aktuelle leverandører:

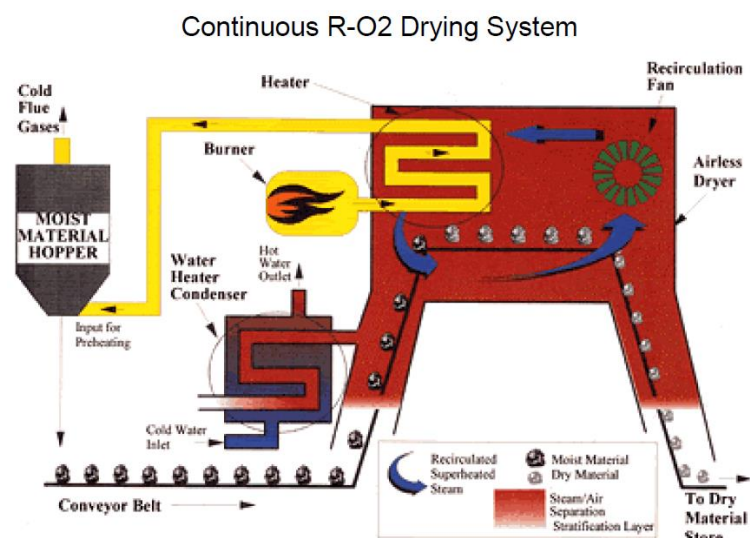
1. SWISS COMBI (Sveits), ecoDry, atmosfærisk
2. DUPPS (USA), Airless Dryer, atmosfærisk
3. Horslev (Danmark), Dyno-Jet tørke, atmosfærisk
4. Horslev (Danmark), Hetland tørke, atmosfærisk



Figur 7 Eksempel på layout av en roterende SHS trommeltørke (DUPPS)

3.4 Beltetørke

CDS Biodri (UK) har utviklet en beltetørke til bruk med SHS. Tørken er best egnet til tørking av granulater og pellet og kjøres under atmosfæriske betingelser. Utformingen er ulik tradisjonelle beltetørker. Disse har horisontale belter mens denne tørken har et skråstilt belte ved innløp og utløp. Dette for å hindre luft inn i seksjonen hvor tørking med SHS foregår. Figur 8 viser layout for tørken.



Figur 8 Layout på SHS beltetørke (CDS Biodri)

3.5 Mekanisk fluidisering

Mekanisk fluidisering gjøres i et kammer ved bruk av roterende padler (Figur 9). Dette er en batch-tørke som kjøres under atmosfæriske betingelser. Designet ansees lite egnet for storskala tørking av fiskemel, men kan finne anvendelse innen andre nisjer. De er to aktuelle leverandører av denne typen tørker:

1. Multivector (Norge), Idecon-tørke, atmosfærisk
2. Gustav Eirich (Tyskland), Evactherm Vacuum mixer (SSD vakuum tørke)

En pilottørke av typen Idecon (Multivector) som er utstyrt for bruk med SHS finnes installert i pilotanlegget hos Nofima i Bergen (Figur 9).



Figur 9 Mekanisk fluidisering. Multivector/Idecon-tørke installert hos Nofima, Bergen

3.6 Brett-tørke

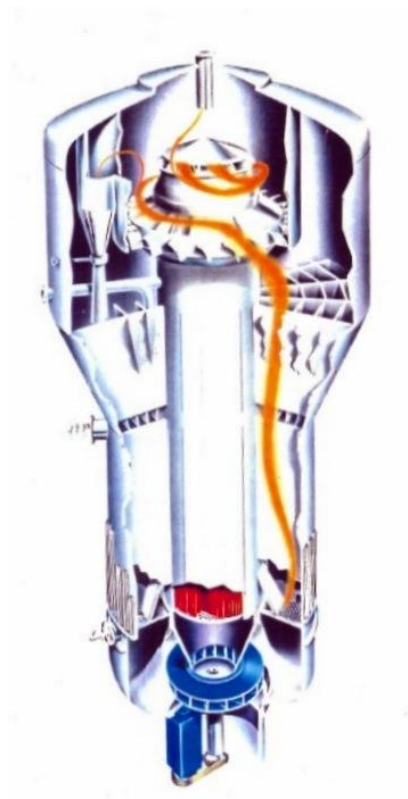
EPCON (Norge) har utviklet en SHS brett-tørke (batch-tørke) som kan kjøres atmosfærisk eller under vakuum (Figur 10). Designet ansees lite egnet for storskala tørking av fiskemel, men kan finne anvendelse innen andre nisjer.



Figur 10 Brett-tørke (EPCON)

3.7 Spouted bed

GEA Niro (Danmark) har utviklet en Spouted bed tørke (en type fluid bed tørke; Figur 11) basert på SHS og som kjøres ved overtrykk med en oppholdstid på 1,5 til 5 minutter. Temperaturen i dampen inn og ut av tørken blir på grunn av overtrykket høy (hhv. ca. 175 og ca. 160 °C). Ulempen med tørken er at tørkegodset får tilnærmet samme temperatur som innløpstemperaturen under hele tørkeforløpet.



Figur 11 Spouted bed (GEA Niro)

4 Forsøk utført ved Nofima

Nofima i Bergen har gjennom en årrekke studert SHS tørking av fiskemel. I de fleste forsøkene har den viktigste måleparameteren vært biologisk fordøyelig protein (minkfordøyelighet). I perioden 1997 til 2009 har det vært utført forsøk på flere ulike tørker:

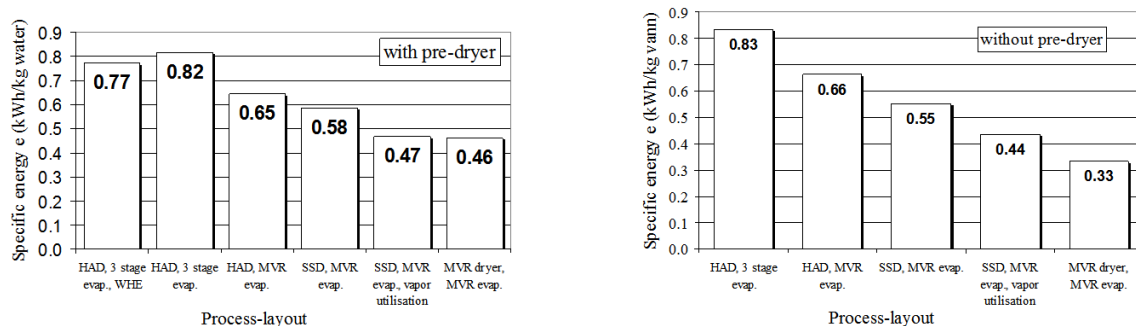
1. Jäckering Ultra-rotor mølletørke. På mølletørken ble det utført forsøk både i 2002 og 2005 (Høstmark *et al.* 2002; Høstmark & Flesland 2005) uten tap av biologisk fordøyelig protein (Tabell 1). Forsøkene i 2005 ble utført med SHS på 287-309 °C inn og 107-117 °C ut. Oppholdstiden var på ca. 10 sekunder. Tørken ble kjørt ved atmosfæriske betingelser. Mengden SHS lå på ca. 450 kg/time ved en produktstrøm på ca. 90 kg/time. Ved disse betingelsene hadde fiskemelet (makrell) ut av tørken en fuktighet på 2,5 % og en midlere partikkelstørrelse på 50 µm. Fuktigheten på massen inn lå på 51,3 %. Erfaring fra forsøkene på mølletørken er at ved flash-tørking får fiskemelet en fibrig struktur som kan redusere flyteegenskapene og gi problemer ved utmating fra silo og innmating på ekstruder i fôrproduksjonsanlegg (Flesland *et al.* 2000; Høstmark *et al.* 2001).
2. Multivector/Idecon paddeltørke. På paddeltørken ble det utført forsøk både i 2005 og 2009 (Høstmark & Flesland 2005; Høstmark *et al.* 2009) uten tap av biologisk fordøyelig protein ved en oppholdstid på 20 minutter (Tabell 1). Fravær av tap av biologisk fordøyelig protein er et overraskende resultat ved så lang oppholdstid. Resultatet er reproducerbart og skyldes trolig at en ved mekanisk fluidisering knuser ned agglomerater under tørkeforløpet og dermed unngår å få temperaturgradienter i store partikler som i mer tradisjonelle trommeltørker. Forsøkene i 2005 ble utført med SHS på 292-301 °C inn og 132-137 °C ut. Tørken ble kjørt ved atmosfæriske betingelser. Mengde SHS lå på ca. 150 kg/time ved batcher på 5-10 kg. Ved disse betingelsene hadde fiskemelet (makrell) ut av tørken en fuktighet på 8,1 % og en midlere partikkelstørrelse på 300 µm. Fuktigheten på massen inn lå på 51,3 %. I forsøk utført på denne tørken er det også målt drepekinetikk for sporedannende og potensielt patogene mikroorganismer. Inaktivering av mikrobiell aktivitet er dokumentert ved en oppholdstid på ca. 1 minutt og oppover ved SHS tørking (Nygaard & Høstmark 2008).
3. Dyno Jet tørke tilpasset SHS ble etablert på Silfas Egersund og forsøk utført både på råstoff fra kolmule og tobis (Flesland 1998; Flesland *et al.* 1998). Dette var storskalaforsøk med mengde inngående fuktig presskake på 1,62-1,75 tonn/time. Forsøkene ble utført med SHS på 300-426 °C inn og 122-131 °C ut. Oppholdstiden var på ca. 30 minutter. Tørken ble kjørt ved atmosfæriske betingelser. Avvanningskapasiteten lå på ca. 1,4-1,8 tonn/time. Ved disse betingelsene hadde fiskemelet ut av tørken en fuktighet på 5,6-8,2 %. Fuktigheten på massen inn lå på 49,8 til 57,6 %. Det ble observert tap av biologisk fordøyelig protein (Tabell 1) og det ble konkludert med at oppholdstiden må betydelig ned ved bruk av SHS til tørking relativt til dagens varmluftstørking.
4. Spouted bed. Tørkeforsøk ble utført ved Gea Niro As i Danmark (Flesland *et al.* 1999) på sild. Forsøkene ble utført med SHS på 175 °C inn og 160 °C ut. Oppholdstiden var på ca. 1,5 til 5 minutter. Tørken ble kjørt ved et overtrykk på 1-2,5 barG. Det ble målt en temperatur på 120 °C på melet ut fra tørken og melet bar visuelt preg av for høy varmebelastning i form av fargeforandring. Det ble observert stort tap av biologisk fordøyelig protein (Tabell 1) og det ble konkludert med at dette designet var uegnet for produksjon av høykvalitets fiskemel.

5. Ringtørke. Det ble utført 2 forsøks-serier hos Stork Engineering i England, begge i 1998 (Flesland *et al.* 1999). Tørken bestod av et langt rørstrekk der tørkegodset ble transportert med høy hastighet medstrøms dampen og var en forløper til dagens ringtørkedesign. Det var ikke montert venturi i innløpet. Det første forsøks-serien (på sild) gav for lav minkfordøyelighet (Tabell 1). I andre forsøks-serie (på kolmule) virket ikke møllen i tørken noe som medførte at partiklene var for store og ble ikke tilstrekkelig tørre. Forsøk hvor tørkegodset ble formalt i våt tilstand før tørking gav en fuktighet på fiskemel på 14,5%. Forsøket ble utført med SHS på 275 °C inn og 145 °C ut. Oppholdstiden var på ca. 10-15 sekunder. Tørken ble kjørt ved et overtrykk på 1-2 barG. I dette forsøket oppnådde man en minkfordøyelighet på 91 % (Tabell 1), tilsvarende kun 1 prosentenhet tap. Det ble anvendt varmekappe i røret for å øke varmeoverføringen. Dette resulterte i påbrenning av tørkegods i første bend etter innløpet. Det ble konkludert med at tørkekonseptet var interessant og at det forventes et noe bedre resultat med våtformaling av tørkegodset og venturi i innløpet for å akselerere og rive tørkegodset tilstrekkelig.

Tabell 1 Resultater fra forsøkene utført hos Nofima, Bergen

Tørketype	Oppholdstid	Minkfordøyelighet (%) inn/ut
Jäckering Ultra-rotor mølletrøke, atm	10 s	93-95 / 93-95
Multivector, Idecon paddeltørke, atm	20 min	95 / 94-95
Dyno Jet dryer (2 tonn) atm	30-35 min	92 / 87-89
Gea Niro spouted bed 1-2.5 barG	1.5-5 min	94 / 85-88
Stork Engineering 1-2 barG	10-15 s	95 / 89-91

Nofima har også utført beregninger på energibesparelse på fiskemelfabrikk ved tørking med SHS (Flesland *et al.* 2000). Figur 12 viser spesifikt energiforbruk med og uten pre-tørking, hvor overskuddsdampen fra tørken går til oppvarming av fiskeråstoff inn i fabrikk. Tallene viser det er mulig med en energireduksjon på 30-50 % avhengig layout og type utsyr på fabrikk.



Figur 12 Spesifikt energiforbruk for ulike prosessalternativer på fiskemelfabrikk (Flesland *et al.* 2000). HAD, Hetland varmluftstørke; MVR evap./dryer, mekanisk rekompresjons-inndamper/tørke; SSD, tørke med overhetet damp

5 Leverandørundersøkelse

Et formelt brev ble utarbeidet og mailet til 16 aktuelle leverandører. Følgende punkter ble presentert og ønsket svar på:

1. Leverandørens interesse for prosjektet.
2. Beskrivelse av tilbudt tørketeknologi til bruk på varmesensitive produkter.
3. Kompetanse og erfaring innen tørking av varmesensitive produkter.
4. Referanser til relevante eksisterende tørkeinstallasjoner.

Resultater fra undersøkelsen er summert under:

5.1 Mølltørke

Tørkeleverandører	Mottatt info	Kommentar
Jäckering (Tyskland), Ultra-rotor	Ja	Kjenner problemstilling godt gjennom mangeårig kontakt med Nofima. Har pågående samarbeid med kunde om SHS tørking i Tyskland (ikke-varmesensitivt produkt).
Hosokawa (Holland), Drymaster og LGM	Ja	Valgt ikke å utvikle Drymaster for SHS, grunnet tekniske utfordringer.
Kix (Australia)	Ja	1 og 2 trinns tørkemethode (luft). Ikke utviklet tørken for bruk med SHS, men kjenner til at kunde i Chile har gjennomført egne forsøk.
ATRITOR (UK), Cell Mill	Nei	Ikke respondert på henvendelsen.
Görgens (Tyskland)	Nei	Ikke respondert på henvendelsen.
VOMM Turbo Technology (Italia)	Ja	Leverer ikke SHS tørke.
AST Dryer (USA) , ATRITOR er europeisk agent	Nei	Samme leverandør som ATRITOR
SPX Anhydro (Danmark), Anhydro Spin Flash dryer	Ja	Ikke i posisjon til å inngå samarbeid. Har ikke testanlegg for SHS tørking

5.2 Ringtørke

Tørkeleverandører	Mottatt info	Kommentar
GEA Barr-Rosin (UK)	Ja	Har SHS ringtørke. Anvender blandekar med retur i tørkesystemet.
SPE-group (Tyskland)	Nei	Ikke respondert på henvendelsen.
SWISS COMBI/DEDERT (Sveits/USA)	Ja	Ringtørke (atmosfærisk og trykk). Levert flere anlegg for tørking av destillasjonsbiprodukt (DDGS), trevirke og varmesensitive produkter. Har erfaring med SHS tørking
Drytec (UK/USA)	Nei	Ikke respondert på henvendelsen.

5.3 Roterende trommeltørke

Tørkeleverandører	Mottatt info	Kommentar
SWISS COMBI (Sveits), ecoDry	Ja	SHS trommeltørke.
DUPPS (USA), Airless Dryer	Ja	Storskala erfaring basert på installert SHS tørke på fiskemelfabrikk i USA.
Horslev (Danmark), Dyno-Jet tørke	Ja	Varmluftstørke i drift ved flere fabrikker. Testet med SHS på 90-tallet (jfr. under 4.0). Ikke videreutviklet for bruk med SHS.
Horslev (Danmark), Hetland tørke	Ja	Varmluftstørke i drift ved flere fabrikker. Ikke videreutviklet for bruk med SHS.

5.4 Beltetørke

Tørkeleverandører	Mottatt info	Kommentar
CDS Biodri (UK), R-O2 Dryer	Ja	Leverer beltetørke for SHS tørking.

5.5 Mekanisk fluidisering

Tørkeleverandører	Mottatt info	Kommentar
Gustav Eirich (Tyskland), Evactherm Vacuum mixer	Nei	Ikke respondert på henvendelsen.
Multivector (Norge), Idecon-tørke	Ja	Nofima kjenner tørkeprinsippet. Energigevinst ved bruk av batch-tørking ikke vurdert.

5.6 Brett-tørke

Tørkeleverandører	Mottatt info	Kommentar
EPCON (Norge)	Nei	Ikke respondert på henvendelsen.

5.7 Spouted bed

Tørkeleverandører	Mottatt info	Kommentar
GEA Niro (Danmark), Spouted bed	Nei	Trolig ikke aktuell pga. overtrykk (3 bar) og i henhold til tidligere forsøk med fiskemel

Basert på etablert kunnskapsstatus, erfaringer fra forsøk utført ved Nofima, Bergen og svar fra leverandørundersøkelsen ble det i styringsgruppemøte onsdag 4. februar 2015 fremlagt følgende forslag for valg av teknologier det bør fokuseres på:

- Mølltørke

- Ringtørke
- Roterende trommeltørke

Dette er alle tørkedesign basert på kontinuerlig prosessering og kan være egnet for storskala tørking av fiskemel. Følgende tørkedesign ble det forslått ikke å prioritere:

- Batchtørke, både mekanisk fluidisering og brett-tørke. Gruppen er usikker på egnethet av batchtørking for tørking av fiskemel i stor skala.
- Belte-tørke. Gruppen mener denne typen tørke er best egnet for pellet og granulater og er usikker på egnethet for fiskemel.
- Spouted bed. Gruppen mener denne ikke er aktuell pga. overtrykk og dårlige resultater fra tidligere forsøk med fiskemel.

Det ble enighet i møte om denne prioritering og det ble besluttet at følgende leverandører skulle følges opp videre:

- Jäckering (Tyskland), mølletørke
- GEA Barr-Rosin (UK), ringtørke
- SWISS COMBI/DEDERT (Sveits/USA), roterende trommeltørke og ringtørke
- DUPPS (USA), roterende trommeltørke

6 Oppfølging av prioriterte leverandører

Det er gjennomført møter med de fire utvalgte leverandørene. Følgende punkter ble presentert og diskutert på møtene:

1. Diskusjon om tilbudt tørketeknologi til bruk med SHS og erfaring innen tørking av varmesensitive produkter ved bruk av SHS.
2. Diskusjon om etablering av pilotanlegg for å dokumentere ytelse, kvalitet og potensial for energireduksjon i en fiskemelprosess.

6.1 DUPPS

Møte med DUPPS ble holdt i Nofima sine lokaler i Kjerreidviken, Bergen, mandag den 23. mars 2015. Følgende var til stede på møte: Rasmus Gundersen, Director of Fish Division, DUPPS; Åge Oterhals, Tor Andreas Samuelsen, Øistein Høstmark, Nofima.

Oppsummering fra møtet

DUPPS sitt «Airless drying system» er basert på trommeltørke med overhetet damp. Tørken har mange fellestrekk med Hetlandtørken som er installert ved flere fiskemelfabrikker i Norden. De har to ulike prinsipper med QuadPass® (tørkegodset kjøres i en lukket loop tilbake i deler av tørken før utløp) og tradisjonell trommel med kryssribber. Sistnevnte ble anbefalt å bruke for tørking av fiskemel. For å bevare proteinkvaliteten kjører de tørken med en midlere oppholdstid på 3-5 minutter. De har jobbet mye med å få designet tett og bruker mateskuer med lett kompresjon på massen inn på trommelen (presser ut luft). Tørken kjøres under atmosfæriske betingelser. De klarer å holde et oksygenivå på under 1-1,5% (5-8% luft). Det er ikke mulig å få tørken helt tett. DUPPS leverer trommel og tetningssystemer og har underleverandører på varmegjenvinning, sykkloner mm. DUPPS mener de ikke har problemer med støv i dampen og bruker høyeffektive sykkloner lik det som brukes på Hetlandtørken. De har en fullskala installasjon på fiskemel i USA med en avvanningskapasitet på 9 tonn/time pr. tørke. Tørken har omtrent samme dimensjon som en Hetlandtørke med samme kapasitet. De skal ha oppstart på en ny fiskemelfabrikk i USA om ca. en mnd. Gundersen indikerte at DUPPS hadde enda en ny leveranse på gang annet sted i verden. Hovedbegrunnelse for valg av tørker med overhetet damp i USA er å få kontroll med luktproblemer og redusere faren for støveksplasjon. Tørken bruker ca. 1 kg olje for å avdampe 14 kg vann. Dette er bedre enn en tradisjonell lufttørke (Hetland) som har en avdamping på ca. 10,5-11,5 kg vann/kg olje. Det er ikke observert oppkonsentrering av ammoniakk i tørkene; erfart lave verdier ut av tørken.

DUPPS har to pilotanlegg som kan flyttes fra USA til Norge. Et lite anlegg med en avvanningskapasitet på ca. 35 kg/time (elektrisk calorifer) og et større på ca. 320 kg/time. Den største har et meget avansert kontrollsystem. DUPPS har god erfaring med oppskalering fra begge pilotanleggene.

6.2 Jäckering

Møte med Jäckering ble holdt i Hamm, Tyskland, torsdag den 5. mars 2015. Følgende var til stede på møte: Michael Andreae-Jäckering (Managing Director), Julia Laudenschach (Sales Director), Jäckering; Åge Oterhals, Tor Andreas Samuelsen, Nofima.

Oppsummering fra møtet

Jäckering har erfaring med tørking i stor skala og har en Ultra-rotor mølletørke (luft-tørke) med avvanningskapasitet på 7,5 tonn/time for tørking av hvetestivelse på egen fabrikk. Det ble imidlertid indikert at formaling av tørkegodset og bruk av klassifiser og returkjøring krevde større energiforbruk på rotor og begrenset trolig praktisk avvanningskapasitet per enhet til 3,5 tonn/time. De holder på å etablere overhetet damptørke hos en kunde. Dvs. de har selv erfaring ved bruk av Ultra-rotor mølletørke med overhetet damp.

Jäckering mener Ultra-rotor mølletørken ved Nofima i Bergen kan oppgraderes til å tørke med overhetet damp og vil klare temperaturer opp mot 400 °C. Utfordring blir innmating for å unngå luft inn i tørken. Dette kan løses på ulike måter som å mate gjennom en skrupresse rett inn i formalingssonen, eller rett inn i dampen før formalingssonen.

Jäckering er i posisjon til å lage store systemer og har erfaring med overhetet damp. Jäckering har også et eget pilotanlegg og tester kan evt. også gjennomføres der. Kapasiteten på tilgjengelige maskiner i dette pilotanlegget er tilsvarende tørken ved Nofima i Kjerreidviken.

6.3 SWISS COMBI/DEDERT

Møte med SWISS COMBI/DEDERT ble holdt på Anuga Foodtec, Köln, tirsdag den 24. mars 2015. Følgende var til stede på møte: Simon Staufer (Sales Director), SWISS COMBI; Kosta Kanellis (Business Manager, Asia), DEDERT; Åge Oterhals, Tor Andreas Samuelsen, Nofima.

Oppsummering fra møtet

SWISS COMBI er fra Sveits og har lang erfaring med trommeltørke basert på overhetet damp. De er leverandør av DEDERT ringtørker (USA) i Europa og vi snakket med representanter fra begge firmaene. De mente begge vi må bruke ringtørke på varmesensitive produkter og ikke trommel. DEDERT hadde brukt mye ressurser på å utvikle ringtørke med overhetet damp til å tørke varmesensitive produkter som f.eks. mais- og hvetegluten og DDGS. De hadde jobbet svært mye med å løse innmatingsproblemer og hadde en kombinasjon av en horisontal mikser og disintegrator (hammermølle) på innløpet. Retur av tørkegodset til mikseren ble utført i tørke-loopen ved hjelp av sentrifugalkraften. De anvender ikke varmekappe i tørke-loopen for å øke varmeoverføringen. Loopen er svært godt isolert og kan stå utendørs dersom ønskelig. De kjørte 0,5-1 bar overtrykk og fikk dermed ned oksygeninnhold i dampen til ca. 1-2 % (5-10% luft). Oppholdstiden i tørke-loopen ble oppgitt til ca. 5 sek. De mente at alle problemene som ble erfart ved gjennomføring av forsøk i regi av Nofima på flash-tørken til Stork Engineering i England i 1998 var eliminert (jfr. under 4.0). De hadde 5 store tørker (avvanningskapasitet opptil 35 tonn/time) i USA på varmesensitive produkter, men ingen erfaring med fiskemel. Tørkene er ca. 30 meter høye. DEDERT bruker ikke filter på utløp, men høyeffektive sykkloner og har erfaring med at det er lite støvtap i dampfasen etter syklon (indikerte 10 mg/N per m³ damp, tilsvarende 1 kg produkt/time).

DEDERT har to pilotanlegg som kan flyttes fra USA til evt. en norsk fiskemelfabrikk. Et lite pilot-anlegg med avvanningskapasitet på 3-5 kg/time og et større på 40-60 kg/time. Pilotanleggene har vært brukt til utviklingsarbeid og er godt instrumentert. Tørkene kjøres med ca. 200-300 °C innløpstemperatur men kan også kjøres opp mot 400 °C. DEDERT har god erfaring med oppskalering fra begge pilotanleggene.

6.4 GEA Barr-Rosin

Et elektronisk møte med GEA Barr-Rosin ble holdt onsdag den 8. mars 2015. Følgende personer var til stede: Dominique Kuehner, Sales and Marketing Manager, GEA Barr-Rosin; Åge Oterhals, Tor Andreas Samuelsen, Nofima

Oppsummering fra møtet

GEA har ringtørker med overhetet damp relativt lik det DEDERT leverer og de har erfaring med overhetet damp til å tørke varmesensitive produkter som f.eks. stivelse, maisgluten, alge og DDGS men ingen erfaring med fiskemel. De har samme type innmating som DEDERT med en kombinasjon av en horisontal mikser og disintegrator (hammermølle) på innløp. Retur av tørkegodset til mikseren ble utført i tørke-loopen ved hjelp av sentrifugalkraften. De har også mulighet til å kjøre retur av ferdig tørket produkt til den horisontale mikseren. De anvender ikke seksjon med indirekte oppvarming i tørke-loop for å øke varmeoverføringen. De anbefalte å kjøre tørken under atmosfæriske betingelser for å bevare proteinkvaliteten. Kuehner mente det ikke var i selve tørken at man fikk redusert proteinkvalitet men i mikseren ved returkjøring av tørkegoods. Oksygeninnhold i dampen ved atmosfæriske betingelser ville ligge på ca. 2-3 % (10-15% luft). Relativt til lufttørke gir ikke tørking i overhetet damp noe direkte energigevinst grunnet mye energiforbruk til vifte og våtmølle, men vil gi mye større muligheter for energigjenvinning. GEA har jobbet mye med energigjenvinning og lukt-kontroll og har intrigert en kjøler nedstrøms tørken i sitt tørkesystem.

GEA har ingen mobil enhet for pilottesting men har en velutstyrt pilot-ringtørke med overhetet damp i Canada. Dette pilot-anlegget har en avvanningskapasitet på 90 kg/h og maksimum innløpstemperatur på 315 °C. GEA mener minimum prøvemengde bør være 3000 kg våtmasse. En mulig opsjon er å bygge et nytt pilotanlegg på en norsk fiskemelfabrikk. Dette har GEA tidligere gjort for en kunde.

7 Vurdering av teknologier og alternative pilotanlegg

7.1 Trommeltørke (DUPPS)

Fordeler og ulemper med teknologien

Trommeltørking er en kjent teknologi for Norsk fiskemelindustri. Teknologien er robust og er egnet for storskala tørking av fiskemel (behov for avvanningskapasitet på 10,0 tonn/time). Med unntak av tidligere forsøk på DynoJet tørke i regi av Nofima (jfr. under 4.0), er DUPPS den eneste av leverandørene med erfaring fra SHS tørking av fiskemel med flere storskalininstallasjoner i USA. Utfordringen ned denne teknologien er fare for skade på proteinet grunnet lang oppholdstid. DUPPS har ikke kunnet fremlegge data for tap av biologisk fordøyelig protein ved produksjon av høykvalitets fiskemel (LT-kvalitet). Oppholdstiden er imidlertid redusert betraktelig (fra ca. 30 minutter i DynoJet tørken til 3-5 minutter) og designet forbedret sammenlignet med Dyno Jet tørken. Vi anser derfor at denne tørketeknologien kan være egnet for tørking av høykvalitets fiskemel, men eventuelt tap av biologisk proteinkvalitet er for dårlig dokumentert og må verifiseres gjennom nye pilot- eller fabrikkforsøk. Redusert oppholdstid vil kunne gi avflashing tidlig i tørkeforløpet og det kan ikke utelukkes en økt fiberstruktur i melet relativt til dagens lufttørker

Pilotanlegg tilbudt fra leverandør

DUPPS har to pilotanlegg i USA. De har et kompakt anlegg (2,0 m bredt, 4,3 m langt og 3,2 m høyt) med en avvanningskapasitet på ca. 35 kg/time og et større på ca. 320 kg/time. Det største har et meget avansert kontrollsystem. DUPPS har god erfaring med oppskalering fra begge pilotanleggene. Det minste anlegget er tilbudt å flyttes til en norsk fiskemelfabrikk.

7.2 Trommeltørke (SWISS COMBI)

Fordeler og ulemper med teknologien

SWISS/COMBI har ingen erfaring med tørking av fiskemel og teknologien er utviklet for stivelses- og etanolindustrien. Designet ligner på det DUPPS leverer. Leverandøren opplyser at oppholdstiden er <10 min. For ytterligere kommentarer, se under 7.1.

Pilotanlegg tilbudt fra leverandør

SWISS COMBI har også mulighet for å kjøre tester. De har et anlegg med en avvanningskapasitet på ca. 4 tonn/time i Sveits som ble operativt i år. Det ble installert en tørke på Wood Research Institute, WKI Fraunhofer i Braunschweig, Tyskland i 1995 og SWISS COMBI utførte tester der i 2006. SWISS COMBI er imidlertid noe usikker på om det fortsatt er i drift.

7.3 Mølletørke (Jäckering)

Fordeler og ulemper med teknologien

Teknologien er brukt til tørking og formaling av fiskemel og andre marine produkter i mindre skala hos Nofima og forsøk har vist at proteinkvaliteten bevares ved SHS tørking (jfr. under 4.0). Tørken har høy kapasitet i forhold til størrelsen og vil være den mest egnede teknologien for SHS tørking av marine næringsmiddelprodukter. Dette grunnet skånsom tørking og finformaling i en og samme operasjon. En ulempe kan være for kort oppholdstid til inaktivering av mikrobiell aktivitet (jfr. under 4.0). Avvanningskapasiteten på den største mølletørken til Jäckering vil trolig ligge på ca. 3,5 tonn/time for fiskemel, og en fiskemelfabrikk vil derfor ikke kunne klare seg med kun en enhet.

Tørken takler mel med høyt fettinnhold (12-13 %). Tørking av mel med høyere fettinnhold vil kunne medføre fettutskilling på vegg i tørken (Høstmark, Nofima, pers. medd). Det er imidlertid uvisst hva dette vil medføre av eventuelle problemer ved lengre produksjonsserier. På grunn av finformaling av melet i tørken er dette den eneste teknologien som krever bruk av filter i tillegg til syklon på utløpet. De andre vurderte teknologiene klarer seg med høyeffektive sykkloner. Det kan muligens være en fare for klogging av filter ved lengre produksjonsserier på denne tørken. Mølletørken er også den eneste teknologien som bruker høyhastighets-rotor. Det er uvisst hvilke merkostnaden dette vil medføre i form av vedlikehold og slitasje. Erfaring fra tidligere forsøk på mølletørken er at fiskemelet får en fibrig struktur med lav bulk tetthet (jfr. under 4.0).

Pilotanlegg tilbudt fra leverandør

Det er avklart med Jäckering at mølletørken ved Nofima kan ombygges til SHS tørking av fiskemel. Jäckering mener at rotoren bør skiftes ut til en «normal» design uten classifier og at turboplater for mikronisering må skiftes ut til «normale» turboplater. Disse har Nofima. Ved «normalt» design er avvanningskapasitet på denne tørken oppgitt til 250 kg/time ved bruk av luft. I tillegg anbefaler Jäckering å investere i en mikser for returkjøring av tørt pulver til tørkegodts.

7.4 Ringtørke (SWISS COMBI/DEDERT)

Fordeler og ulemper med teknologien

Produsenten har lang erfaring med tørking av varmesensitive produkter og proteinbaserte materialer. Teknologien er robust og er egnet for storskala tørking. I tidligere forsøk utført i regi av Nofima ble det observert noe tap av biologisk fordøyelig protein samt en del tekniske problemer (jfr. under 4.0). Leverandøren har ikke erfaring med fiskemel og således ingen verdier på proteinkvalitet, men leverandøren mente at dagens konstruksjon er sterkt oppgradert siden gjennomføring av forsøkene i regi av Nofima i 1998. Tørken vil være godt egnet til tørking av høykvalitets fiskemel. Den største utfordringen med denne teknologien er trolig tørking av fettholdige produkter. Under oppvarming vil tørkegodset kunne slippe fett og smøre kanalen. Dette kan ved lengre produksjonsserier muligens føre til opphopning av tørkegodts i tørke-loopen med fare for plugging av denne. Produsenten anbefaler bruk av trommeldesign hvis fettnivået i fiskemelet overstiger 8-12 %. Fiskemel vil ha et typisk fettinnhold i dette området, men kun tekniske forsøk over tid vil kunne avklare om dette er et reelt problem med det aktuelle tørkedesignet. Basert på tørking av andre varmefølsomme produkter og tidligere forsøk i regi av Nofima anser vi det som sannsynlig at tørketeknologien er egnet for tørking av høykvalitets fiskemel. Det må imidlertid utføres pilotforsøk for å dokumentere bibehold av proteinkvalitet, eventuelle tekniske problemet med fettslipp og fibrig struktur på melet.

Pilotanlegg tilbudt fra leverandør

SWISS COMBI/DEDERT har to testanlegg i USA: 1) Et pilotanlegg med avvanningskapasitet på 40-60 kg/time og et meget avansert kontrollsystem. Tørken kan opereres med delvis resirkulering av tørkeluften. Dette vil øke damptrykket i tørkeluften, men anlegget kan ikke kjøres som en ren SHS tørke. 2) En liten tørke med avvanningskapasitet på ca. 3-5 kg/time. Denne kan kjøres med både luft og SHS som tørkemedium. Fordelen er kompakt design (2,5 m bredt, 2,5 m langt og 3 m høyt) og behov for små mengder tørkegodts (ca. 30-50 liter pr. forsøk). Ulempen er at tørken ikke er helautomatisert og krever kontinuerlig overvåkning av operatør.

SWISS COMBI/DEDERT ønsker ikke å flytte eksisterende pilotanlegg fra USA til Norge, men har gitt kostnadsoverslag for etablering av nye pilotanlegg for tørking med SHS i Norge.

7.5 Ringtørke (GEA Barr-Rosin)

Fordeler og ulemper med teknologien

GEA har ingen erfaring med tørking av fiskemel. Se ellers vurderinger under 7.4.

Pilotanlegg tilbudt fra leverandør

GEA har ingen mobil enhet for pilottesting, men har en velutstyrt pilot-ringtørke med overhettete damp i Canada. Dette pilot-anlegget har en avvanningskapasitet på 90 kg/h og maksimum innløpstemperatur på 315 °C. GEA mener minimum prøvemengde bør være 3000 kg våtmasse.

8 Valg av teknologi og etablering av pilot anlegg

Det er gjennom møter med de aktuelle leverandører identifisert kunnskapsmangel på tap av biologisk proteinkvalitet og eventuelle driftstekniske problemer ved høyt fettnivå i tørkegodset. Vi kan derfor ikke gi en endelig konklusjon relatert til valg av spesifikk tørketeknologi for fase 2 i prosjektet uten at det først gjennomføres supplerende forsøk med de mest aktuelle alternativene.

Følgende kunnskapshull er knyttet til de aktuelle tørkedesignene:

- DUPPS trommeltørke – tap av biologisk fordøyelig protein, fibrighet og lav bulk tetthet
- Jäckering mølletørke – driftsproblemer knyttet til fettslipp i tørkesonen, klogging av filter ved høyt fettnivå i melet, fibrighet og lav bulk tetthet.
- SWISS COMBI/DEDERT ringtørke – tap av biologisk fordøyelig protein, driftsproblemer knyttet til klogging av rør grunnet fettslipp, fibrighet og lav bulk tetthet.

En direkte oppstart av fase 2 i prosjektet kan kun baseres på ombygging av eksisterende Jäckering mølletørke. Mølletørken er evaluert og vil fungere med overhetet damp uten tap av biologisk fordøyelig protein. Ombygging og installasjon på fiskemelfabrikk kan trolig gjennomføres i løpet av 2015. Denne tørken har en kapasitet på 250 kg/time og vil gi drift-teknisk erfaring relevant for storskala drift. Relativt til skala vil dette være det rimeligste alternativet.

Både ringtørken og trommeltørken er videreutviklet siden forsøkene utført i regi av Nofima i perioden 1997-1998 og vil nå ha et potensiale for tørking av høykvalitets fiskemel. Gruppen foreslår å utføre forsøk hos SWISS COMBI/DEDERT og DUPPS. For Dupps ser vi kun behov for å få verifisert bibehold av biologisk fordøyelig protein og graden av fibrighet til melet. Trommeltørking er et kjent og robust tørkeprinsipp og generelt forventer vi ikke driftstekniske problemer ved høyt fettnivå i melet. Dupps har erfaring med leveranse av storskala SHS tørker ved fiskemelfabrikker i USA. Behov for å etablere et eget testanlegg for å verifisere andre driftstekniske problemer bør derfor revurderes.

For SWISS COMBI/DEDERT ringtørke vil det primært være behov for å få verifisert bibehold av biologisk fordøyelig protein og graden av fibrighet til melet. I tillegg mangler det driftserfaring på fiskemel. Dette kan kun fremskaffes gjennom etablering av et testanlegg ved fiskemelfabrikk. Her er vi usikre på om skala på det minste pilotanlegget (3-5 kg/time) er tilstrekkelig for å få frem relevant driftserfaring eller om det vil være behov for å etablere et anlegg med større kapasitet (40-60 kg/time). Dette blir et kostnadsspørsmål.

Resultater fra de overfor nevnte supplerende undersøkelser vil gi et klart sikrere grunnlag for valg av tørkedesign i prosjektets fase 2 og behov for eventuell etablering av et pilotanlegg i Norge. Et testanlegg i Norge anbefales installert på en norsk fiskemelfabrikk. Dette vil gi mulighet til å kjøre parallelle tørkeforsøk og direkte sammenligning av melkvalitet basert på dagens varmlufttørke. Plasseringen vil også gi mulighet for å kjøre tester med og uten fortørking på damptørke og lengre produksjonsserier for å evaluere robusthet og eventuelle driftstekniske problemer.

Overskuddsdampen tenkes anvendt på koker til oppvarming av fiskeråstoffet eller inndamper. For å forenkle installasjonen kan overskuddsdampen alternativt kun dokumenteres kvalitativt i form av temperatur, luftinnblanding og innhold av organisk materiale. Mengden luft kan måles med en oksygenmåler montert i dampstrømmen. Nofima har en egnet måler for kontinuerlig måling av

oksygen. Et enkelt oppsett for måling av organisk materiale kan være å kondensere en gitt mengde av dampen og deretter analysere nitrogen og tørrstoffinnholdet i kondensatet. Samme teknikk kan også anvendes til å dokumentere avvanningskapasiteten ved alternative driftsbetingelser. Produktkvaliteten vil bli fulgt gjennom måling av biologisk fordøyelig protein, oksidasjonsnivå og stabilitet, partikkelstørrelsesfordeling og form (fibrighet).

8.1 Oppsummering og konklusjon

Basert på kunnskapsstatus og gjennomførte leverandørundersøkelser er følgende leverandører og tørkedesign vurdert å være de mest aktuelle for storskala SHS tørking av fiskemel og andre marine ingredienser:

- DUPPS (USA), roterende trommeltørke.
- Jäckering (Tyskland), mølletørke.
- SWISS COMBI/DEDERT (Sveits/USA), ringtørke.

Følgende fordeler og usikkerhetsmomenter er knyttet til de aktuelle tørkedesignene:

- DUPPS trommeltørke - Produsenten har erfaring med leveranse av storskala SHS tørker ved fiskemelfabrikker i USA og det forventes ikke driftstekniske problemer ved høyt fettnivå i melet. Usikkerhet er knyttet rundt tap av biologisk fordøyelig protein på grunn av lang oppholdstid i tørken samt fibrighet og lav bulk tetthet på melet grunnet eventuell avflashing tidlig i tørkeforløpet.
- Jäckering mølletørke – Produsenten har erfaring med SHS tørking og mølletørking med SHS av fiskemel og andre marine produkter i mindre skala hos Nofima har vist at proteinkvaliteten bevares. Tørken har høy kapasitet i forhold til størrelsen og vil være den mest egnede teknologien for SHS tørking av marine næringsmiddelprodukter. Dette grunnet skånsom tørking og finformaling i en og samme operasjon. Usikkerhet er driftsproblemer knyttet til fettslipp i tørkesonen, klogging av filter ved høyt fettnivå i melet, fibrighet og lav bulk tetthet. Mølletørken er også den eneste teknologien som bruker høyhastighets-rotor. Det er uvisst hvilke merkostnaden dette vil medføre i form av vedlikehold og slitasje.
- SWISS COMBI/DEDERT ringtørke – Produsenten har lang erfaring med tørking av varmesensitive produkter og proteinbaserte materialer. Teknologien er robust og er egnet for storskala tørking. Produsenten anbefaler imidlertid bruk av trommeldesign hvis fettnivået i fiskemelet overstiger 8-12 % på grunn av driftsproblemer knyttet til klogging av rør grunnet fettslipp. Andre kunnskapshull er tap av biologisk fordøyelig protein, fibrig struktur på melet og lav bulk tetthet.

En direkte oppstart av fase 2 i prosjektet kan kun baseres på ombygging av eksisterende Jäckering mølletørke. Det anbefales imidlertid å utføre forsøk hos DUPPS og SWISS COMBI/DEDERT og få verifisert bibehold av biologisk fordøyelig protein og graden av fibrighet før beslutning om innhold i fase 2 tas.

9 Referanser

- Anto, A., Bv, K., Gc, J., Hebbar, H.U. (2014). Recent developments in superheated steam processing of foods - A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, DOI:10.1080/10408398.2012.740641.
- Blasco, R., Alvarez, P.I. (1999). Flash drying of fish meals with superheated steam: Isothermal process. *Drying Technology*, 17, 775-790.
- Bórquez, R.M. (2003). Stability of n-3 fatty acids in fish particles during processing by impingement jet. *Journal of Food Engineering*, 56, 245–247.
- Flesland, O. (1998a). Referanseanlegg (M-5333-9). Tørking av fiskemel i overhetet damp. Sluttrapport til IFE.
- Flesland, O. (1998b). Enøk-potensialet ved tørking i overhetet damp og utnyttelse av lavtemperaturvarme. Internrapport SSF.
- Flesland, O., Høstmark, Ø., Mjelde, A. (1999). Tørking av fiskemel i overhetet vandamp. Internrapport SSF.
- Flesland, O., Høstmark, Ø., Samuelsen, T.A., Oterhals, Å. (2000). Selecting drying technology for the production of fish meal. In: *Proceedings of the 12th International Drying Symposium, IDS2000* (Kerkhof, P.J.A.M., Coumans, W.J. & Mooiweer, G.D. eds.), Professional paper no. 177, pp. 10. Noordwijkerhout, the Netherlands.
- Flesland, O., Mjelde, A., Høstmark, Ø. (1998). Tørking av fiskemel i overhetet damp. Sluttrapport NFR.
- Høstmark, Ø. (2003). Tørkeforsøk på IDE CON blandetørke. Internrapport SSF.
- Høstmark, Ø., Flesland, O. (2005). Quality Aspects of Fishmeal Dried in Air and Superheated Steam. 3rd Nordic Drying Conference, Karlstad, Sweden.
- Høstmark, Ø., Flesland, O., Mjelde, A. (2002). Mill drying of fishmeal in superheated steam. In *Drying 2002 - Proceedings of the 13th International Drying Symposium* (Cao, C.W., Pan, Y.K., Liu, X.D., Qu, Y.X. eds.) pp. 1550-1555. Vol. C. Beijing University of Chemical Technology, Beijing, China.
- Høstmark, Ø., Flesland, O., Mundheim, H. (2009). Superheated steam drying compared to air drying and product qualities for fishmeal. *Proceedings of the 4th Nordic Drying Conference*, Reykjavik, Iceland.
- Høstmark, Ø., Flesland, O., Nygård, E. & Oterhals, Å. (2001). Mill drying of fishmeal. In: *Proceedings of the 1st Nordic Drying Conference* (Alves-Filho, O., Eikevik T.M. & Strømmen, I. eds.), No. 51, pp. 8. SINTEF Energy Research and NTNU, Trondheim, Norway.
- Niamnuy, C., Devahastin, S., Soponronnarit, S. (2014). Some recent advances in microstructural modification and monitoring of foods during drying: A review. *Journal of Food Engineering*, 123, 148–156.
- Nygaard, H., Høstmark, Ø. (2008). Microbial inactivation during superheated steam drying of fish meal. *Drying Technology*, 26, 222-230.
- Nygaard, H., Høstmark, Ø., Mjelde, A. (1999). Dekontaminering av tørke med overhetet damp. Internrapport SSF.
- Opstvedt, J., Nygård, E., Samuelsen, T.A., Venturini, G., Luzzana, U., Mundheim, H. (2003). Effect on protein digestibility of different processing conditions in the production of fish meal and fish feed. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 775-782.
- Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S., Wetchacama, S., Jaisut, D. (2002). Desorption isotherms and drying characteristics of shrimp in superheated steam and hot air. *Drying Technology*, 20, 669–684.

- van Deventer, H.C. (2004). Industrial superheated steam drying. TNO-report R 2004/239. Apeldoorn, The Netherlands.
- Wang, Y., Zhang, M., Mujumdar, A.S. (2011). Trends in processing technologies for dried aquatic products. *Drying Technology*, 29, 382–394.

