

TR A7499 - Åpen

Hovedrapport

Rasjonell klippfisktørking

Oppsummeringsrapport

Forfatter(e)

Erlend Indergård



Hovedrapport

Rasjonell klippfisktørking

Oppsummeringsrapport

EMNEORD:

Klippfisk

Tørking

Energieffektivisering

Tørketeknologi

VERSJON

V1

FORFATTER(E)

Erlend Indergård

DATO

2015-04-22

OPPDRAGSGIVER(E)

FHF

OPPDRAGSGIVERS REF.

Lorena Gallart Jornet

PROSJEKTNR

FHF-900662, SINTEF-16Y003

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

22 + 0 vedlegg

SAMMENDRAG

Oppsummering Rasjonell klippfiskproduksjon

FHF har i perioden 2011-2014 finansiert prosjektet Rasjonell klippfiskproduksjon.

Prosjektets hovedmål er å anbefale en rasjonell produksjon av klippfisk med jevn kvalitet for økt produksjon, effektivisering av arbeid samt reduserte drifts- og energikostnader. Ved å tilpasse FoU aktiviteter til den enkelte bedrift med forskjellige tørkeprosesser og driftsmetoder, vil en kunne dokumentere hvordan en kan øke produksjonen, effektivisere arbeidsoppgavene og redusere drifts- og energikostnadene for ulike typer anlegg.

Totalt 23 tørkeanlegg ble kartlagt, og industrielle målinger ble utført hos produsenter som hver representerer en av de 4 hovedkategoriene av teknologi som benyttes til tørking av klippfisk.

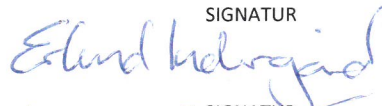
Resultatene viser at de fleste produsentene har varierende potensiale til å optimalisere driften. I tillegg til generelle tiltak for økt effektivitet, vil hvile av klippfisk i 3 perioder under tørking (temperering/avrenning, mellomlagring og slutt-tørking) kunne øke kapasiteten med 100 % uten økte energikostnader.

Utnyttelse av overskuddsvarme har stort potensiale til å effektivisere driftskostnadene.

UTARBEIDET AV

Erlend Indergård

SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**

Michael Bantle

SIGNATUR

**GODKJENT AV**

Petter Røkke

SIGNATUR

**RAPPORTNR**

TR A7499

ISBN

978-82-594-3629-0

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
V1	2015-04-22	Versjon 1 – åpen

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	4
1.1	Sammendrag:	4
1.2	Summary:	4
2	Innledning	5
3	Problemstilling og formål	5
4	Prosjektgjennomføring	6
5	Oppnådde resultater, konklusjon	7
5.1	Kartlegging av ulike løsninger ved eksisterende anlegg	8
5.2	Industrielle forsøk for optimalisering	10
5.2.1	Avrenning og temperering	11
5.2.2	Mellomlagring	11
5.2.2.1	Mellomlagring øker kapasiteten	12
5.2.2.2	Optimal mellomlagringstid og temperatur	12
5.2.2.3	Effekt av press og bøy under mellomlagring	14
5.2.2.4	Effektiv sluttørking	14
5.2.2.5	Dobling av kapasiteten med avrenning, mellomlagring og slutt-tørking	15
5.3	Sluttørking i eget lager	15
5.4	Dynamisk modell for klippfisktørking	16
5.5	Saltmodning og utbytte	16
5.5.1	Vanninnhold og utbytte av ferdig klippfisk	17
5.6	Kvalitetsforskjell ved bruk av ulike råvarer (Frossen/tint)	18
5.7	Effekt av hard tørking	19
6	Publikasjoner	21
7	Kvalitetssikring av prosjektgjennomføring og resultater	22

BILAG/VEDLEGG

Ingen

1 Sammendrag

1.1 Sammendrag:

Prosjektet Rasjonell Klippfiskproduksjon hadde som hovedmål å anbefale en rasjonell produksjon av klippfisk med jevn kvalitet for økt produksjon, effektivisering av arbeid samt reduserte drifts- og energikostnader. Prosjektet tar utgangspunkt i eksisterende produksjonsanlegg og evaluerte innsparingspotensialet derfra. Tiltakene blir evaluert både teoretisk i termodynamiske modeller og simulasjoner, og verifisert gjennom industrielle forsøk. Nye løsninger ble demonstrert i industrielle produksjonsanlegg.

Ved å tilpasse FoU aktiviteter til den enkelte bedrift med forskjellige tørkeprosesser og driftsmetoder, vil en kunne dokumentere hvordan en kan øke produksjonen, effektivisere arbeidsoppgavene og redusere drifts- og energikostnadene for ulike typer anlegg. Fokus for prosjektet var på industriell produksjon og over 20 anlegg ble kartlagt og evaluert. Anleggene ble delt inn i 4 kategorier hvor løsninger for effektiv drift ble synliggjort for hver enkelt kategori.

I tillegg til enkelttiltak som øker effektiviteten ble det satt stort fokus på utnyttelse av tilstøtende lager for å redusere belastningen på tørkesystemene. Ved å avrenne saltfisk, mellomlagre slakkefisk, og slutt-tørke fisk i lager utenfor tørkene er det **synliggjort opptil dobling av kapasitet og tilsvarende reduksjon i energiforbruk per tonn produsert klippfisk.**

Videre ble effekt av fersk kontra frosset råvare evaluert, i tillegg til effekt av hard innledende tørking.

Denne rapporten summerer opp resultater fra delrapportene levert i prosjektperioden. FHF har på sine hjemmesider www.fhf.no presentert alle åpne rapporter.

1.2 Summary:

The project 'Rasjonell klippfiskproduksjon' had as main objective to recommend an optimal production of clip fish with consistent quality, increased production capacity, reduced demand for manpower which results in reduced operating and energy costs. The project is based on existing manufacturing facility and evaluated the potential savings based on these plants. The measures are evaluated both theoretically in thermodynamic models and simulations, and verified through industrial trials. New solutions were demonstrated in industrial production plants.

By adapting research activities to the individual companies with different drying processes and methods of operation, it was possible to document how to increase production, streamline business processes and reduce operating and energy costs for various the types of production. The focus of the project was on industrial production and over 20 plants were surveyed and evaluated. The plants were divided into four categories where solutions for effective operations were highlighted for each category.

In addition to specific changes that increase the efficiency, there was a major focus on utilization of areas outside the dryers to reduce the load on the drying systems. By dewatering the salted wet fish, intermediate storage of semi-dry fish, and end-dry the fish outside the dryers, **it was possible to increase the capacity by 100 %, and reduce the specific energy consumption per ton of clip fish analogous.**

Furthermore, the effect of fresh versus frozen raw material was evaluated, in addition to the effect of the hard initial drying.

Reports are available on www.fhf.no

2 Innledning

Den teknologiske utvikling for de ulike tørkeløsningene har tidligere vært styrt av leverandører. Fokus var den gang rasjonelle driftsforhold og lavere kostnader for tørkene. Sterkt økende energi- og driftskostnader medførte ny FoU aktivitet med fokus på tørketeknologi og -system i samarbeid mellom bransjen, SINTEF/NTNU og andre miljø. Forskningsaktivitet utført av SINTEF Energi AS de siste årene har vist at et betydelig potensial for reduksjon i energiforbruket, og samtidig en stor økning i produksjonen kan oppnås ved å gjennomføre tiltak hos produsentene. Kunnskapen som er fremkommet er i en viss grad tatt i bruk av næringen og flere nye tørkeanlegg er bygget. Planer for modernisering av flere anlegg er under bearbeidelse. Det har vært forskningsmessige utfordringer pga. at tørkesystemene har variert betydelig mellom produsenten.

For å bedre overføringen av kunnskap om teknologi og driftsoptimalisering, var det nødvendig å kjøre spesifisert optimalisering mot hver enkelt teknologi, med aktiviteter i nær kontakt med enkeltbedrifter. Interesserte bedrifter ble fulgt opp ved målinger i foredlingsanlegg, og teknologiske løsninger tilpasset praktiske forhold ved bedriftene ble utviklet. Det er i næringen en rekke oppfatninger om påvirkning av tørkemetoder, temperaturer og drift av anleggene på kvalitet og tørketid. For å verifisere disse antakelsene ble målinger ved industrielle anlegg gjennomført. Fokus på sentrale utfordringer for fremtidens tørkeanlegg var sentralt, samtidig som det var viktig å få belyst effekten av enkelte driftsformer som påvirker produktivitet og kostnader.

Etter avtale har SINTEF gjennomført prosjektet med aktiviteter og fulgt opp prosjektets arbeidsplan med oppstart i november 2011. Fra forskningsmiljøets side var det ønskelig og viktig at en får til et samarbeide mellom interesserte foredlingsbedrifter og leverandører som kunne bidra med innsats i aktivitetene og utnytte resultatene. De mest aktuelle delprosjekt som blir diskutert er vurdert ut fra forskermiljøets kunnskap om forholdene og mulige aktiviteter og løsninger.

SINTEF Energi AS var hovedansvarlig for gjennomføring av prosjektet. Arbeidsplan, leveranser og avvik ble jevnlig presentert og diskutert med styringsgruppen. Styringsgruppe består av forskjellige representanter fra industrien og ble fulgt opp fra FHF, Faggruppe Konvensjonell.

Med grunnlag i resultatene fremkommet i arbeidet under prosjektet Rasjonell klippfiskproduksjon har styringsgruppen påpekt viktigheten av at de resultater og løsninger som er fremkommet i prosjektet, blir godt presentert til produsentene.

3 Problemstilling og formål

Prosjektets hovedmål var å utvikle rasjonell produksjon av klippfisk med jevn kvalitet for økt produksjon, effektivisering av arbeid, samt reduserte drifts- og energikostnader. Målet skulle oppnås ved å etablere nye rutinger basert på tidligere prosjekter rundt klippfisk og tørktekniske evalueringer.

Prosjektet hadde følgende delmål, som i felleskap skulle bidra til en modernisering av norsk klippfisk industri;

- Dokumentere ved målinger av flere typer eksisterende tørkeanlegg effekten av tradisjonelt benyttede driftsrutiner
- Synliggjøre og dokumentere økt produksjon ved å effektivisere enhetsoperasjonene
- Optimalisere eksisterende tørkeanlegg og driftsrutiner
- Synliggjøre energiforbruket gjennom ulike typer av anlegg og gi anbefalinger i forhold til tiltak for å effektivisere energibruken

Ved å tilpasse FoU aktiviteter til den enkelte bedrift med forskjellige tørkeprosesser og driftsmetoder, blir det mulig å dokumentere hvordan en kan øke produksjonen, effektivisere arbeidsoppgavene og redusere drifts- og energikostnadene for ulike typer anlegg. Det ble utviklet forskjellige konsepter rundt mellomlagring, mekanisk påkjenning av klippfisk, slutt-tørking og bruk av forskjellig råvarer som ble evaluert teoretisk og i industrielle og lab forsøksserier. Resultatene viser et betydelig innsparingspotensial for industrien og er presentert for FHF og styringsgruppen.

Ulik fokus på drift gjør at optimalisering av teknologien hos produsentene kan være forskjellig for hver enkelt, eller i det minste innen hver teknologi-kategori. Ved stor og kontinuerlig produksjon kan flere langblåse tunneler i parallell være optimalt, mens ved mindre og ujevne produksjoner kan kanskje en liten kammertørke være godt nok. Investeringskostnad ved en eventuell modifisering/ombygging må stå i forhold til redusert energiforbruk og økt kapasitet. Det er derfor også sett på situasjonen for produsentene når det gjelder:

- Råvaresituasjon. Tilgang, fersk/frosset, modningsgrad - vanninnhold
- Kapasitetsmålinger, Tonn pr døgn
- Avfuktingskapasitet i aggregat – i henhold til leverandørspesifikasjoner
- Energiforbruk, kW pr time og kW pr tonn
- Drift (kapasitet- eller markedsstyrt – personer pr oppgave)
- Lagersituasjon. Bruk av mellomlagring/fysisk behandling

Det er tydelig at de fleste produsentene de seneste årene har fått en bedre forståelse og økt kompetanse på mekanismene bak tørkingen. Det er ut fra tidligere prosjekter på klippfisk blitt skissert enkelttiltak som øker lønnsomheten og kapasiteten i anlegg, og som mange nå har tatt i bruk. Dette kan være god saltmodning, størrelsessortering av fisk før tørking, jevnere fylling av tørker over tid, økt avstand mellom Brett på vognene, fokus på reduksjon av falskluft ol. Enkelte har samtidig startet med mellomlagring.

Mange produsentene har funnet sin teknologi og drift som passer best for sin egen produksjon, men det er samtidig mange som har utfordringer både kapasitets- og energisiden.

4 Prosjektgjennomføring

Prosjektet tok utgangspunkt i eksisterende industrielle tørkemetoder som er i bruk i klippfisk produksjonen og fokuserte på praktiske tiltak for å forbedre energiforbruk. Tiltakene er vurdert med hensikt til teknologisk gjennomførbarhet og nytte til industrielle produsenter. Prosjektet karakteriseres som industriprosjekt, hvor aktuelle problemstillinger fra industrien ble behandlet og FoU har en høy praktisk andel med hensikt til industriell omsetning.

Milepærer, leveranser, budsjett og prosjektplan ble jevnlig presentert til styregruppe og avvik diskutert derfra. Avvikene var i forhold til prosjektets hovedmål ubetydelig og alle definerte milepærer og leveranser ble oppnådd innenfor prosjektets tids- og økonomiske ramme. Avvikene var hovedsakelig begrunnet i tilgjengelighet av industrielle anlegg for forsøkskjøring, samt sesong-variasjon i produksjon som ansees som vanlig for et prosjekt av denne størrelsesorden.

5 Oppnådde resultater, konklusjon

Resultatene som fremgår videre i dokumentet er utdrag fra rapporter levert FHF, og som finnes åpne på FHF sine hjemmesider (www.fhf.no).

Oppsummeringen av resultatene er presentert videre under punktene:

1. Kartlegging av eksisterende anlegg
 - Rapport: TRA7500 Kategorisering av dagens klippfiskanlegg (L1)
2. Industrielle forsøk og bestemmelse av effekten av
 - a. Avrenning og temperering
 - b. Mellomlagring
 - c. Mekanisk påkjenning
 - d. Effektiv sluttørking
 - Rapport TRA7501 Måling av langblåst tunneltørke (Strømmen system) etter forbedring (L2a)
 - Rapport TRA7502 Måling av langblåst tunneltørke i kombinasjon med kammertørke (L2b)
 - Rapport TRA7503 Analyse av langblåst tunneltørke med VP i by-pass (L5a)
 - Rapport TRA7504 Analyse av kammertørke med VP i by-pass (L5b)
 - Rapport TRA7505 Analyse av 3-kammertørke med VP og absorber i by-pass (L5c)
 - Rapport TRA7506 Analyse av langblåst tunneltørke (Strømmen system) (L5d)
3. Konseptet og evalueringer rundt sluttørking i eget lager
 - Rapport: TRA7507 Energi- og prosessoptimalisering ved sluttørking i eget lager (L6)
4. Modellering av tørkesystemer
5. Bidrag til infohefter til bransjen om saltmodning og utbytte
6. Evaluering av frossen/tint vs. Fresk råvare i tørkeprosessen
 - Rapport: TRA Kvalitetsforskjeller ved ulike råvarer (L4)
7. Effekt av hard tørking

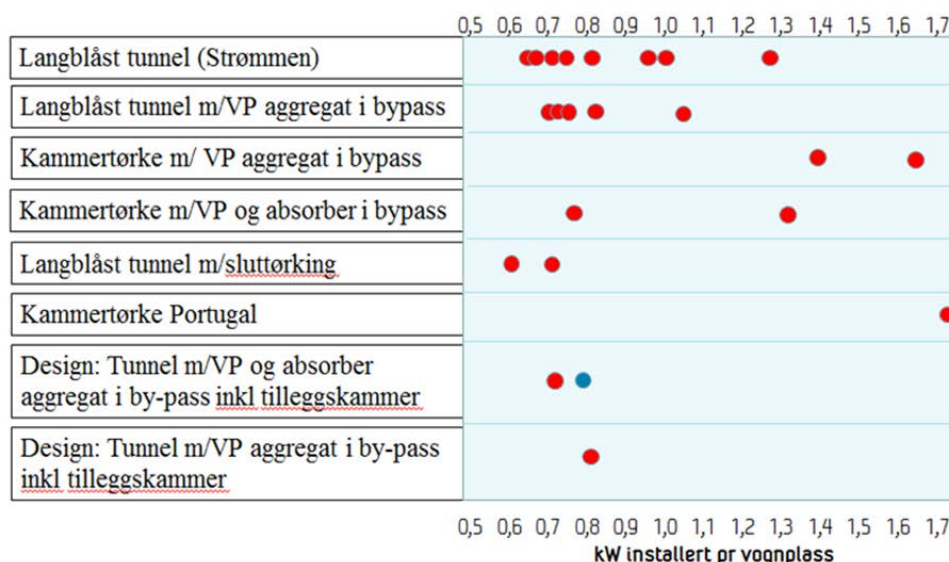
5.1 Kartlegging av ulike løsninger ved eksisterende anlegg

Ulike fokus og utfordringer blant produsentene:

Langs norskekysten finnes klippfiskprodusenter som av svært ulike årsaker har valgt ulike teknologier. Fokus angående tørking av saltfisk er samtidig varierende, der enkelte produsenter har fokus på å produsere store mengder kontinuerlig, mens andre tørker kun når de ikke får omsatt saltfisk. Samtidig har enkelte produksjon av alle typer fisk og kvaliteter, mens noen tørker kun små sei. Tilgang til råvarer og personell kan for enkelte være en utfordring, mens andre har egen saltfiskproduksjon og en god og fast stab.

23 forskjellige tørkeanlegg har blitt kartlagt, og teknologiene kan deles inn i 8 grupper, med 4 mest sentrale teknologi-kategorier (listet øverst i Figur 1). Det er ikke mulig å sammenligne ulike teknologier direkte pga. at driften (dvs. fyllingsgrad, størrelse på fisken, saltmodningsgrad) stort sett påvirker energiforbruket i større grad enn selve teknologien. En måte å sammenligne teknologiene er imidlertid å se på installert effekt pr vognplass, noe som gir god sammenligning ved full drift. Figur 1 viser de ulike tekniske løsningene i forhold til antall kW installert effekt per vognplass. Det er tydelig at den langblåste tunnelen er den mest utbredte tørketunnel i norsk klippfiskindustri og i hovedsak er det installert effekt mellom 0,6-0,8 kW per vognplass. Gjennomgående har løsninger med kammertørke vanligvis en høyere installert effekt. Det må nevnes at enkelte av disse kommer urimelig dårlig ut pga. back-up systemer som normalt ikke er i drift selv ved full drift.

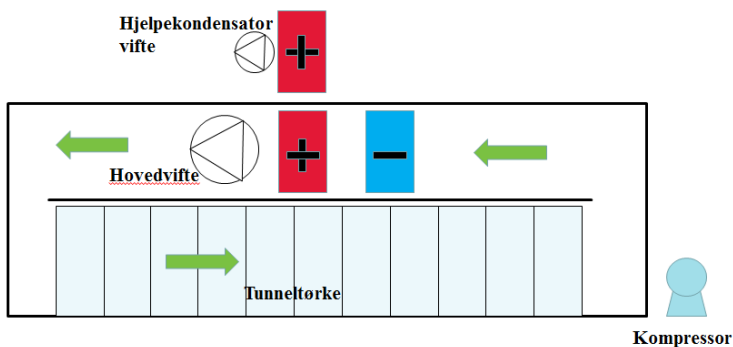
Alle teknologiene benytter varmepumpe for å avfukte og varme opp tørkeluften. Varmepumpe er essensielt for å oppnå energieffektiv drift. Samtidig er det viktig at varmepumpen jobber mot godt oppfuktet luft for best effektivitet. Her får de fleste kammertørker utfordring, da fuktigheten i tørkeluften blir svært lav ved slutten av tørkeperioden. Det leveres derimot kammertørke-løsninger der flere kammer er satt i serie for best mulig oppfuktning pga. at produkter er i forskjellige faser i tørkingen i ulike kammer.



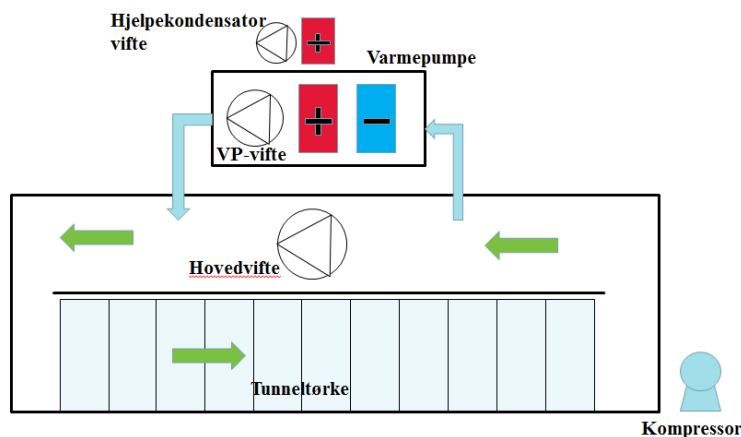
Figur 1: Antall kW installert effekt per vognplass for de ulike tekniske løsningene.

De 4 kategoriene av tørkesystemer er vist i figurene under.

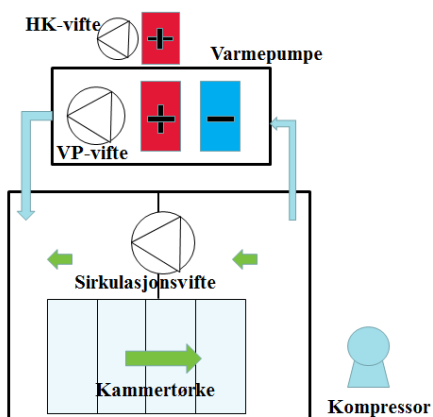
- Langblåste tunneler med varmepumpe (Strømmen). All sirkulert luft blir avfuktet
- Langblåste tunneler med aggregat (YIT, AG) i by-pass. Ca. 30 % av sirkulert luft avfuktes
- Kammertørket med aggregat (YIT, AG) i by-pass. Ca. 10-20 % av sirkulert luft avfuktes.
 - YIT aggregat – varmepumpe
 - AG aggregat - varmepumpe og absorpsjonsanlegg – Flere kammer i serie.



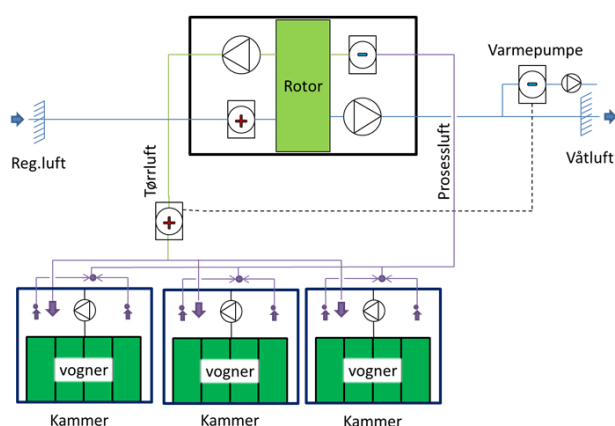
Figur 2: Langblåste tunneler med varmepumpe (Strømmen). All sirkulert luft blir avfuktet



Figur 3: Langblåste tunneler med aggregat (YIT, AG) i by-pass. Ca. 30 % av sirkulert luft avfuktes



Figur 4: Kammertørke med YIT aggregat i by-pass. Ca. 10 % av sirkulert luft avfuktes.



Figur 5: Kammertørker i serie med Alfsen&Gunderson aggregat i by-pass. Ca. 10-20 % av sirkulert luft avfuktes.

5.2 Industrielle forsøk for optimalisering

Innledningsvis i prosjektet ble det gjennomført en rekke lab-forsøk, før erfaringene derifra ble implementert i større industrielle forsøk. Forsøkene omhandler målinger av de mest vanlige teknologiene å tørke klippfisk på per i dag. Industriforsøk ble gjennomført på følgende 4 teknologier.

- 1) Langblåst med YIT aggregat i by-pass
- 2) Kammertørke med YIT aggregat i by-pass
- 3) 3-kammerløsning med A&G aggregat
- 4) Langblåst med Nordvestmiljø/Johnson Control system.

Med bakgrunn i resultater fra målinger på disse teknologiene, ble det gjennom styringsgruppen bestemt å ytterligere se på optimalisering av punkt 1) og 2) i kombinasjon, samt punkt 4).

I de senere år har mange produsenter har fått bedre forståelse av mekanismene bak effektiv tørking, og har justert driften i henhold til dette. Dette er bl.a.:

- Reduksjon av falskluft
- Økt avstand mellom brett
- Størrelsessortering,
- Justering av luftmengder gjennom tørkeforløpet

De fleste produsentene ønsker så høy kapasitet på sine anlegg som mulig. Klippfiskproduksjon er en energikrevende prosess, og tørkesystemet (sammen med kjøleanlegg for saltfisk) står for det meste av energibruken ved anleggene. Det er derfor essensielt å utnytte tørkekapasiteten i så stor grad som mulig. I tillegg til punktene over, er det svært viktig å ha fokus på høy fyllingsgrad.

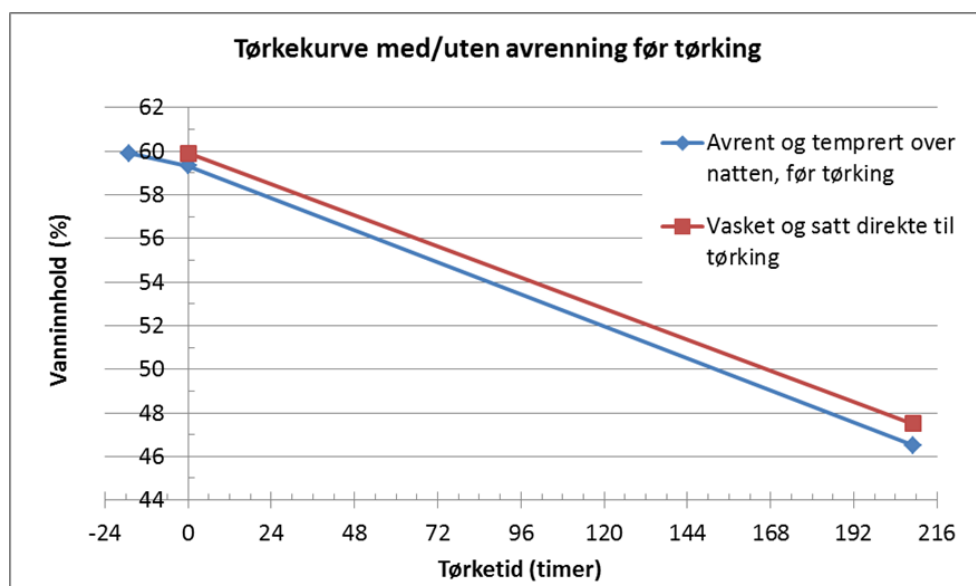
Klippfisk tørker langsomt, noe som selvfølgelig er en utfordring energimessig. Men det gir samtidig mulighet for effektivisering av linjen. Ved å bruke tilstøtende lager utenfor tørkene, er det mulig og mer enn doble kapasiteten uten å øke forbruk av kWh. Dette kan gjøres ved å plassere vognene utenfor tørkene i 3 perioder:

1. Avrenning og temperering av saltfisk før tørking
2. Mellomlagring av slakkfisk etter 2-3 døgn innledende tørking for å jevne ut resterende fuktighet i fisken
3. Slutt-tørking ved å ta fisken ut før den er helt tørr og tørke ut siste rest av vann i lager.

5.2.1 Avrenning og temperering

Avrenning og temperering av saltfisk før tørking er en viktig måte og redusere energibruk på tørking, og samtidig å øke kapasiteten i tørkene. Mange produsenter vasker saltfisken (spesielt torsk) før pålegg på vognene. Saltfisken er kald og har mye overflatevann. Hvis vognen blir satt direkte inn i tørkene, må vannet fjernes vha. tørke-aggregatene. Ofte er det store dammer under de nylig innsatte vognene. Det er helt unødvendig å belaste tørkesystemet med overflatevann og temperaturøkning, da vognene kan stå i hallen over natt før innsats i tørken.

Flere industrielle forsøk har vist at vanninnholdet kan gå ned med så mye som 1 % i løpet av natten. Dette er faktisk 10 % av all vann som skal fjernes i løpet av tørkingen. Man sparer nesten ett døgn i tørken ved å la vognene renne av seg. I figuren under er et eksempel hvor vanninnholdet i saltfisken har gått ned 0,6 % i løpet av de 17 timene vognene sto til avrenning.



Figur 6: Ved å la våt saltfisk få avrent seg utenfor tørken, vil man kunne spare inntil ett døgn i tørken.

5.2.2 Mellomlagring

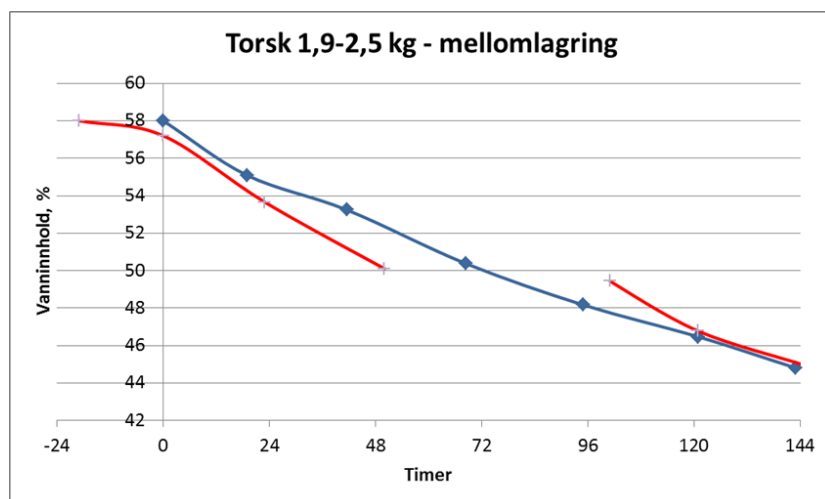
Gjennomgangen av tidligere tørkeforsøk viser at tørkemotstanden i hovedsak ligger i tørrsjiktet som dannes på overflatene. Årsakene er kompliserte, men siden fuktighetsgradienten innover fra tørkefronten er liten synes ikke væsketransporten innenfra å være begrensende. At tørrsjiktet ikke vokser etter en viss størrelse og at dette stadig blir tørrere tyder også på at væsketilførselen innenfra er tilstrekkelig. Uansett viser pressforsøkene at dette påvirker i betydelig grad tørkehastigheten. Årsaken er tydeligvis at press gir

sammentrykking og derved bevegelse som bryter opp og lager kanaler i tørrsjiktet som reduserer dampstrømningsmotstanden.

Erfaringer fra industrien har vist god effekt på tørkehastigheten ved omlegging av stor fisk. En vanlig fremgangsmåte er at stor/tykk og seintørka fisk eller lite avlagra saltfisk tørkes i 2-3 døgn før vognene tas ut av tunnel. Fisken har blitt tatt av brett og stablet på pall. Etter 1-3 døgn legges fisken på brett igjen og settes inn i tørken. Som sagt var erfaringen at videre tørkehastighet økte, men dette er lite basert på målinger eller undersøkelser. Siden omlegging og lagring er arbeidskrevende var det viktig å gjennomføre målinger av prosessen for dokumentasjon av effektene og betingelser for å oppnå redusert tørketid.

5.2.2.1 Mellomlagring øker kapasiteten

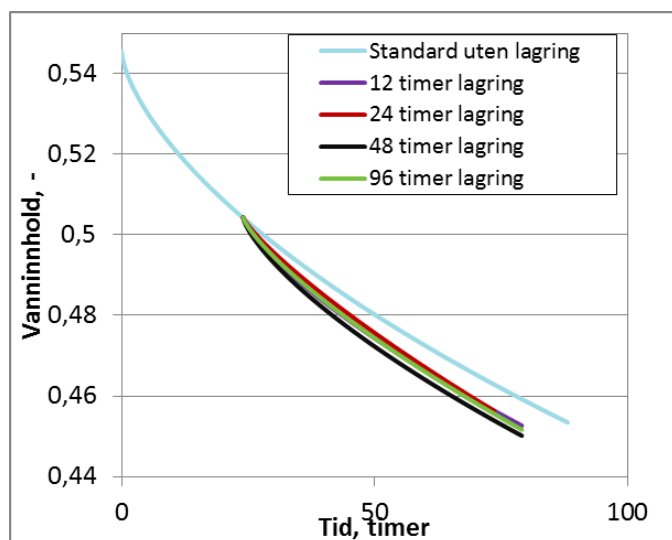
Forskjellig tørkeforsøk med og uten mellomlagring og med og uten mekanisk påkjenning ble gjennomført for å verifisere observasjoner fra industrien. Figuren under viser et industrielt eksempel på medium stor torsk, hvor man sammenligner tradisjonell tørking hvor fisken står i tørken hele tiden, med avrent og mellomlagret fisk. Kapasiteten på tørken går opp med 33 % ved at behovet for at fisken står i tørken går ned fra 6 til 4 døgn. Energiforbruket på tonn produsert går ned tilsvarende.



Figur 7: Ved og mellomlagre fisken etter 2-3 døgn, vil slutt-tørkingshastigheten øke og redusere behov for antall dager i tørken.

5.2.2.2 Optimal mellomlagringstid og temperatur

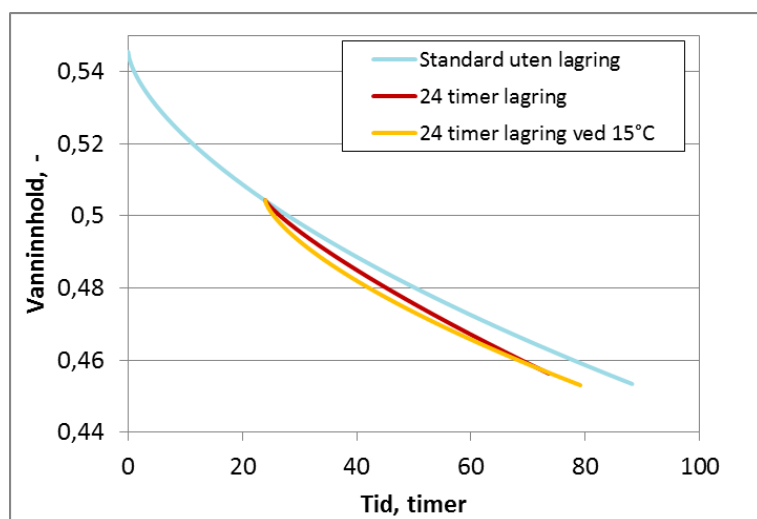
Den optimale mellomlagringstiden varierer med størrelse på fisken, og ble bestemt ved separate lab-forsøk og verifisert industrielt. Høyere tørkehastighet etter mellomlagring forklares med interne diffusjons mekanismer som resulterer med et høyere vanninnhold nær overflaten etter mellomlagring. Mellomlagringstid med 0,5, 1, 2 og 4 dager ble testet, og det viste seg at allerede en 12 timers periode med mellomlagring resulter i en positiv effekt for tørketiden. Med bakgrunn i de gjennomførte forsøkene ble en mellomlagringstid av 1-2 dager vurdert som tilstrekkelig (se Figur 8). Industrielt er 2 døgn normalt, men man bør vurdere 3 døgn ved svært stor fisk.



Figur 8: Standardisert tørkekurver for klippfisk mellomlagret ved 4 °C med forskjellig lagringstider.

Videre ble temperaturen under mellomlagringen evaluert, med forsøk mellom 4 °C og 15 °C. Det visste seg at lagringstemperaturen hadde liten effekt på den effektive tørketiden (Figur 9). Den har imidlertid betydning for effektivitet til tørkesystemet, siden nedkjølt fisk utgjør en termisk belastning for varmepumpe systemet etter innsats igjen. Effekten av høyere lagringstemperatur på holdbarhet (matsikkerhet) ble vurdert av vrakere som ikke kunne finne endringer. Den salte og halvtørre fisken er svært motstandsdyktig mot mikrobiologisk vekst innenfor en tidsperiode på 2-3 døgn.

Med tanke på tørkeforløp og energibetraktninger er det anbefalt å mellomlagre fisken 2 dager ved normale lager-temperaturer for å oppnå en raskere tørking.

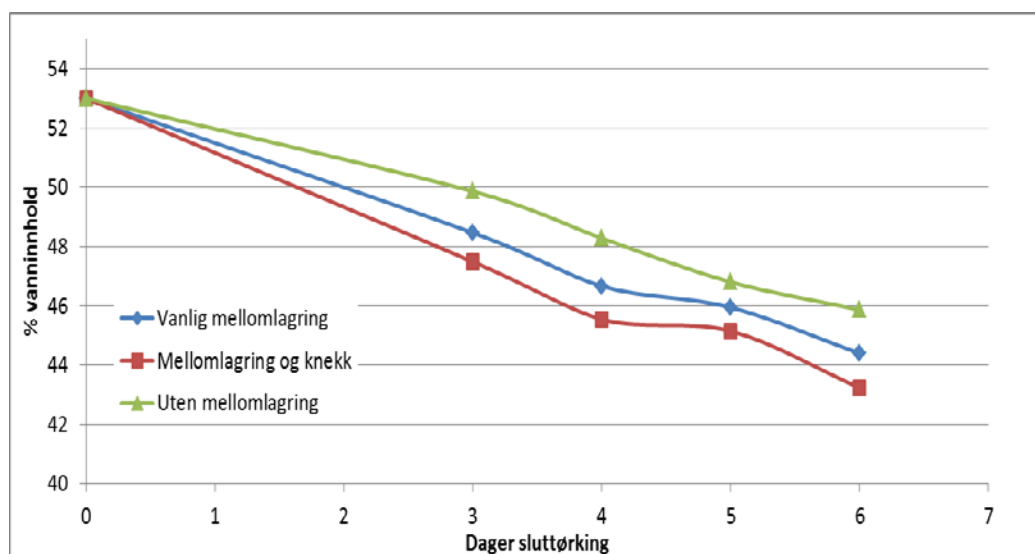


Figur 9: Standardisert tørkekurve for klippfisk mellomlagret ved 4 °C og 15 °C i 2 dager.

5.2.2.3 Effekt av press og bøy under mellomlagring

Tanken bak det og mellomlagre slakkfisken på pall, var at håndteringen ved å ta av slakkfisken fra brettene skulle bryte opp tørrsjiktet. Forsøk viser at dette ikke er nødvendig. Det kan synes som om tørrsjiktet blir oppfuktet innenifra også under lagring på vogn. Det er vist at lagring på vogn gir en ytterligere lettelse av fisken under mellomlagring, samtidig om man sparer betydelig manuelt arbeid. Lettelse av fisken er avhengig av lavere fuktighet i hallen der mellomlagringen foregår.

Som nevnt er det unødvendig å ta fisken av brettene under mellomlagring. Det er derimot en positiv effekt å knekke fisken langs ryggen før slutt-tørkingen.



Figur 10: Effekt på tørketid ved bruk av mellomlagring og ved å knekke slakkfisken langs ryggraden.

Fra figuren over, ser man at det gir en betydelig økt tørkehastighet under slutt-tørkingen etter å ha mellomlagret fisken på vogn. Mellomlagring reduserer behovet for å ha fisken inne i tørken med 1-2 døgn. Ved å knekke på fisken langs ryggskeinet under mellomlagringen vil man ytterligere redusere slutt-tørkingen med et halvt døgn. Dette er imidlertid en meget arbeidsom prosess, og det bør vurderes om dette er hensiktsmessig. Tørkehastighet med og uten mellomlagring og bøyning av fisken er utført industrielt flere ganger, og samme resultat fremkommer.

5.2.2.4 Effektiv sluttørking

Under siste del av tørkingen er vannfjerningshastigheten fra fisken svært lav. Det er i denne perioden energikrevende å fjerne siste rest av vann, og økt lufthastighet eller temperatur har liten betydning for økt tørkehastighet. Imidlertid har relativ fuktighet en viss betydning, og vognen må plasseres slik at disse møter den tørreste luften i systemet. Dette gjøres industrielt.

Det er gjennomført målinger på vogner som tas ut av tørken ett døgn før de er helt tørre, å slutt-tørkes i hallen utenfor. I hallen var fuktigheten i luften 60-70 % og det var luftutskifting. Etter 2 døgn var fisken tørr, og man sparte ett døgn i tørken.

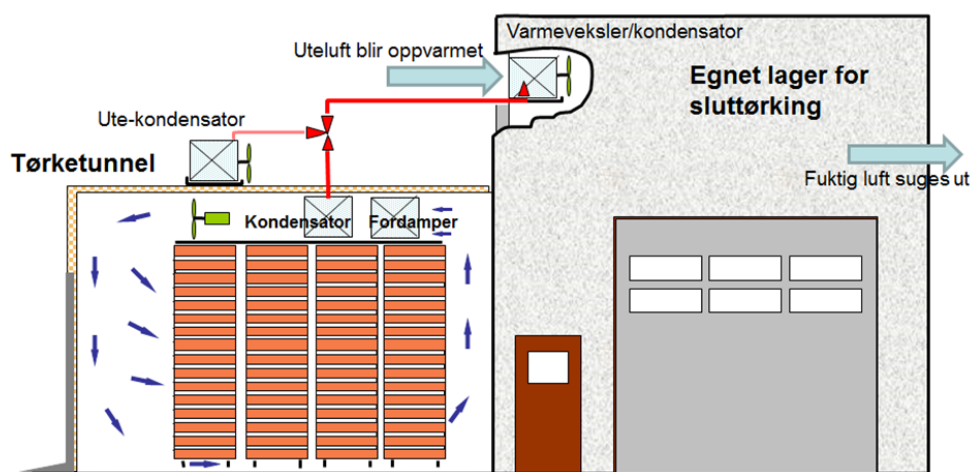
5.2.2.5 Dobling av kapasiteten med avrenning, mellomlagring og slutt-tørking

Under forsøk med stor torsk var normal tørketid 8 døgn. Etter forsøk der vogner først ble avrent, deretter mellomlagret og til slutt tatt ut av tørken før endelig vanninnhold, ble antall døgn i tørken redusert til 5 døgn. Dette økte kapasiteten på anlegget med 38 %, samtidig som spesifikt energibruk pr tonn produsert ble tilsvarende redusert.

Varmepumpesystemet har overskuddsvarme som normalt blir dumpet over tak. Dette er energi som fullt ut kan brukes til f.eks. å varme uteluft som kan blåses gjennom lager eller haller benyttet til mellomlagring og slutt-tørking. Forsiktige beregninger viser at kapasiteten ytterligere kan forbedres, og man kan forvente en dobling av denne ved å utnytte overskuddsvarmen. Dette er nærmere beskrevet i neste kapittel.

5.3 Sluttørking i eget lager

Det kan være ulike løsninger for å utnytte overskuddsvarmen fra varmepumpen til slutt-tørking. En mulighet er å koble til en hjelpekondensator nummer to, som suger inn uteluft og varmer denne før den går inn i et egnet lager eller areal utenfor tørkene. Dette vil kreve god regulering pga. at det i all hovedsak fortsatt vil være overskudd av varme, og en del må fortsatt dumpes over tak i ute-kondensatoren.



Figur 11: Prinsipp-skisse av hvordan overskuddsvarmen kan utnyttes til slutt-tørking i eget lager.

En annen løsning vil være å koble til en het-gass varmeveksler etter kompressoren som ved hjelp av en glykolkrets kan overføre energien til en varmeveksler som erstatter kondensatoren som vist i figuren over. Er ikke dette tilstrekkelig, kan man i tillegg kjøre glykolkretsen inn på oljekjøleren på kompressoren.

Avhengig av hvilket areal eller lager man har mulighet til å benytte til slutt-tørking, så må man samtidig vurdere hvordan den oppvarmede uteluften skal fordeles i rommet. Det er sannsynlig at et egnet lokale til slutt-tørking vil være av betydelig størrelse. Det vil være viktig å ha en løsning på andre siden av lageret der den fuktige luften blir ventilert ut av lageret.

Hos produsenter med mindre produksjon, kan en enkelt vifte på lagerveggen som suger uteluft gjennom en varmeveksler med overskuddsvarme være tilstrekkelig. Denne løsningen kan være tilstrekkelig for å skape et tørkepotensiale i slutt-tørkingslageret. Etter at den oppvarmede uteluften har gått gjennom vognene, vil det også her være nødvendig å ventilere ut oppfuktet luft.

Hos større produsenter med kontinuerlig drift, vil det være behov for et betydelig areal. Grovt kan man regne at man trenger plass til dobbelt så mange vogner som man tar ut fra tunnelen hver dag. Tar man normalt ut 30 vogner per dag, vil man måtte ha 60 vognplasser tilgjengelig utenfor tørken. For å sikre god utnyttelse av den oppvarmede uteluften, vil man kunne benytte f.eks. ventilasjonsrør med flere åpninger.

Uteluften varierer selvfølgelig med årstiden, og potensialet i kystnære strøk i Norge vil enkelt kunne utnytte dette konseptet i minst 10 av årets 12 måneder. Denne løsningen alene vil kunne øke kapasiteten på anlegget med 15 %, og tilsvarende reduksjon av spesifikk energi.

Med bakgrunn i resultater fra dette prosjektet har nå utstysleverandører kommet med løsninger for slutt-tørking i eget lager som er klart for markedet.

5.4 Dynamisk modell for klippfisktørking

I sammenheng med energetiske betraktninger er et simulasjonsverktøy uunnngåelig for mer avansert evalueringer i modeller for prosess-systemer og varmpumper. Tørking av klippfisk er kontrollert av produkt-interne parameterne, men er til en vist grad også avhengig av eksterne tørkebetingelser særlig i begynnelsen av tørkingen. En tørkemodell skal helst inkludere disse parameterne for å gi et realistisk bilde av fukt-transporten og energiflyten. Tidligere modeller er i prosjektet blitt forbedret, en modell er utviklet som er basert på varme- og masseoverføring og på at tørkehastigheten er kontrollert av vanndamptrykk luft i luften og i produktet.

Nærmere opplysninger om modellen og erfaringstall fra simuleringer og beregninger for tørking av klippfisk kan finnes i prosjektleveransen Notat L23 a-d. Med denne modellen er det mulig å simulere både tunnel og kammertørking av klippfisk. Modellen håndterer produktets størrelse, tørketemperaturen, luftfuktighet og lufthastighet. Samtidig blir fysikalske effekter, som for eksempel befukning av fisk ved høy luftfuktighet, inkludert i modellen. Modellen er blitt verifisert med tørkeforsøk fra både lab'en og industrielt.

Modellen blir programmert som objekt i en dynamisk simulasjons verktøy (Dymola) og kan blir brukt sammen med andre komponenter fra standard biblioteket (varme-veksler, kompressorer, osv.). Dette åpner mulighet for å bruke modellen i videre undersøkelser også i fremtiden hvor f.eks. forskjellige systemløsninger kan bli sammenlignet (lang- vs. tverrblåst tunnel, bypass tørking, slutt-tørking i eget lager, osv.). I den nyere versjon av Dymola finnes det også muligheter til å eksportere ferdig programmerte modeller til Microsoft-Excel. Dette kan være en god mulighet for industrien som sluttbruker av modellen for å sjekke tørrhetsgraden i sine tunneler via en godkjent modell av sitt tørkesystem.

5.5 Saltmodning og utbytte

I industrien ser man store variasjoner i modningsgraden av saltfisk som blir benyttet til klippfiskproduksjon. Vanninnholdet i saltfisk er avhengig av modningsgraden, og de store variasjonene i saltfiskkvaliteten har direkte betydning for klippfiskutbytte og økonomien på bunnlinja hos klippfiskprodusentene.

Markedene og kunder setter forskjellige krav til vanninnhold i klippfisk og vanligvis ligger det mellom 47 % og 50 % vann av totalvekten. Utgangspunktet for produksjonen er full saltet fisk som etter bransjenormen for saltfisk vanligvis inneholder 20 % salt og har mistet 50 % av vannet. Med 20 % faststoff i fisken betyr dette et vanninnhold på rundt 53,3 %. Saltfiskutbyttet fra flekket fisk ligger da i størrelsesorden rundt 75 %.

Saltfisk produseres i dag hovedsakelig ved pickelsalting med noe forskjellige prosesser med laketilsetting eller også injisering. I en undersøkelse i utført av NOFIMA¹ er det gjort omfattende målinger av saltfiskutbytte ved industrielle salteprosedyrer, forskjellig råstoff, handtering og lagring. Formålet var å bestemme vanlig utbytte av saltfisk ved de industrielle salteprosessene og effekter av fiskens behandling og prosessering. Selv om vanninnholdet i saltfisken ikke ble målt må variasjonen i utbytte fra flekket fisk fra 64 % til 75 % bety at en har store variasjoner i vann og/eller salt i ferdigvaren.

I mange prosjekt innen klippfisktørking er vanninnholdet i saltfisken målt før og under tørking. Disse dataene viser betydelige variasjoner i vannmengden som må fjernes under tørkeprosessen og denne har øket de senere år. Ved utviklingen av varmpumper i tørkeprosessen i 1976 – 80 var vanlig vanninnhold mellom 51 – 52 % for liten fisk og mellom 53 - 55 % for stor fisk. I dag er vanninnholdet betydelig høyere, ofte 56 – 58 % og resulterer både i mindre utbytte av innkjøpt råstoff og betydelig høyere tørkekostnader.

Bedre kunnskap om årsak til dette og hvordan næringen skal kunne måle vanninnhold og jevnhet i partier som kjøpes er derfor viktig for lønnsomheten ved tørkeanleggene. Rasjonell Klippfiskproduksjon har utviklet kurver som skal hjelpe produsentene med å se konsekvensene av varierende saltmodning.

5.5.1 Vanninnhold og utbytte av ferdig klippfisk

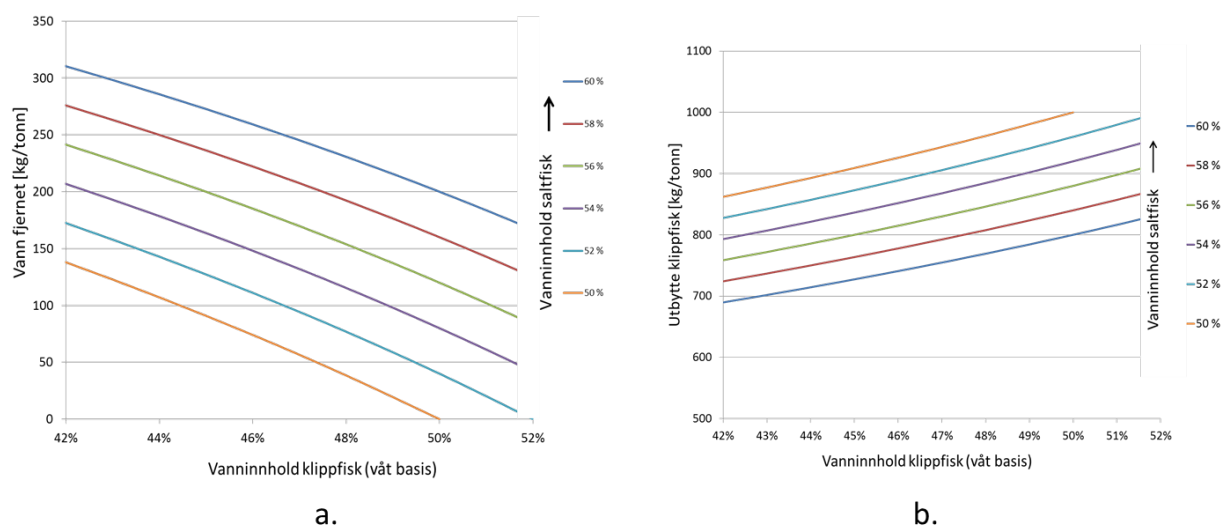
Betydningen av vanninnholdet på utbytte av ferdig klippfisk er betydelig. Vanninnhold beregnes som vektandel vann av totalvekt (faststoff + vann). Lik endring i vannmengde gir derfor ikke jevn prosentendring. Her er et eksempel som viser dette:

- Tørking av 1 tonn saltfisk **fra 53 % vann i saltfisk til 47 % i klippfisk** krever fjerning av **113 kg vann** og gir **887 kg klippfisk**.
- Tørking av 1 tonn saltfisk **fra 57 % vann i saltfisk til 47 % i klippfisk** krever fjerning av **189 kg vann** og gir **811 kg klippfisk**.

Økningen i vanninnhold på 4 % gir altså 67 % økning i mengde vann som må fjernes og 8,6 % reduksjon i utbytte.

For å lette oversikten over vanninnholdets innflytelse på mengde vann som må fjernes, og gi et raskt overslag over klippfiskutbytte er derfor beregningene satt opp i kurveform i Figur 12.

¹ Akse, L og Joensen, S. (2008) Undersøkelse av utbyttefaktor ved produksjon av saltfisk. Sammenfatning av saltforsøk i fire bedrifter. Tekniske rapport, Nofima Marin



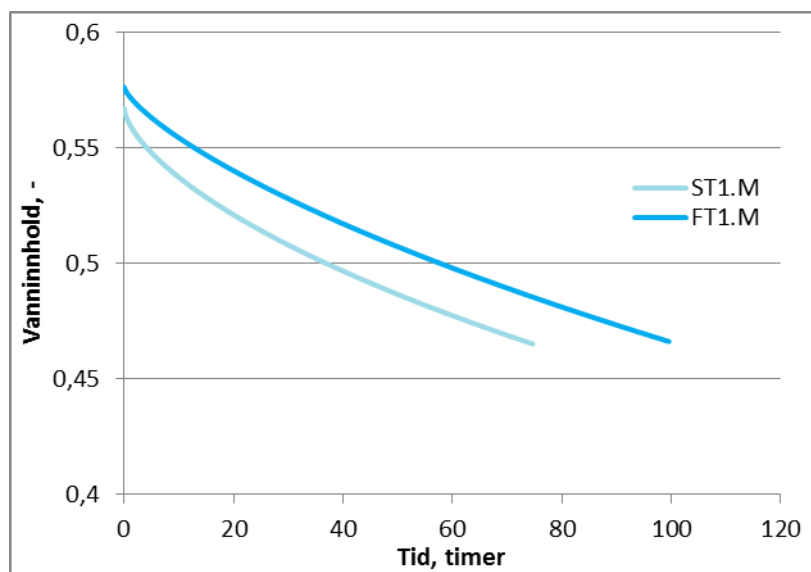
Figur 12: Beregnet mengde vann fjernet, utbytte ferdig klippfisk og tørrhetsgrad per tonn råstoff med varierende vanninnhold.

5.6 Kvalitetsforskjell ved bruk av ulike råvarer (Frossen/tint)

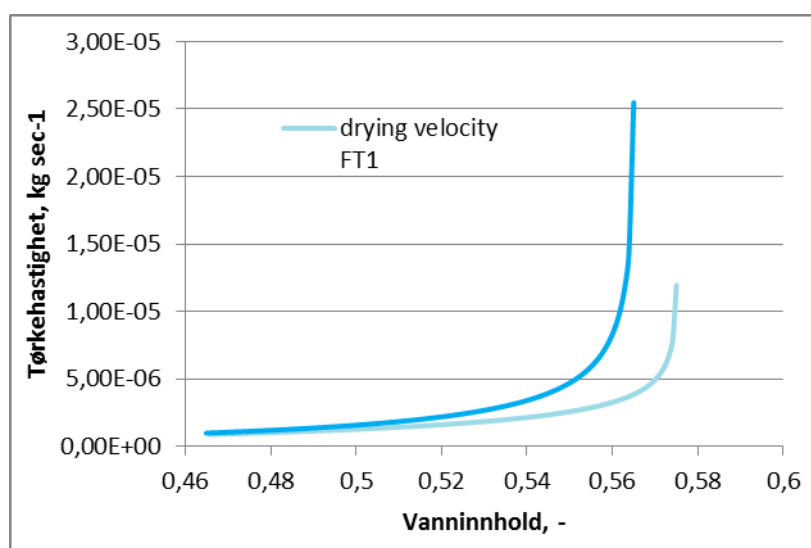
Fra industrielle operatører er det blitt rapportert at klippfisker tørker med forskjellig tørkehastigheter, avhengig om fisken var frossen i utgangspunkt eller om fersk råmateriale er brukt før salting. Kontrollerte lab-forsøk ble gjennomført for å verifisere dette.

Utgangspunktet for tørkeforsøk var saltfisk, som var produsert en gang fra fersk (ikke frossen) råvare og en gang fra frossen og tint råvare. Det var lagt fokus på at fisken hadde omtrent samme størrelse og vanninnhold før tørkingen startet. Alle tørkeforsøk resulterte i godt kvalitet på sluttproduktet.

Tørkehastighet for klippfisk som var frossen og tint før saltingen var redusert med omtrent 30 % sammenlignet med tørkehastighet for klippfisk som ble produsert fra fersk råvare (se Figur 13 og Figur 14). Resultatet var uventet, siden frossen/tint råvare vanligvis har en lavere vannbindingskapasitet, dvs. deler av vannet er ikke lenger bundet i celler. Saltinnholdet blir analysert og viste at frossen/tint klippfisk hadde noe høyere saltinnhold i overflaten enn tilsvarende fra fersk saltfisk. Dette kan kanskje forklare den lavere tørkehastigheten av frossen/tint klippfisk, særlig siden salt binder generelt sett vannet. Basert på de gjennomførte lab-forsøk er det konkludert at frossen/tint råvare fører til en langsommere tørking og derfor redusert kapasitet av tørka.



Figur 13: Tørkeforløp for klippfisk produsert fra fersk råvare (ST1) og frossen/tint råvare (FT1).



Figur 14: Tørkehastighet for klippfisk produsert fra fersk råvare (ST1) og frossen/tint råvare (FT1).

5.7 Effekt av hard tørking

Temperatur og luftfuktighet er de viktigste parameterne i tørkeprosessen av klippfisk, og i industrien har hver produsent sine erfaringer om hva er best for sitt anlegg. Alle produsenter har derimot til felles at de ønsker en hurtig tørking pga. av kapasitet og energikostnader som er relatert til lange tørketider. De mest vanligste tørkebetingelser er en temperatur rundt 22 °C og en luftfuktighet rundt 40 %. Dette har derfor blitt etablert som standard betingelser for forsøkskjøring, og som samtidig er akseptert for industrien. Med bakgrunn i tørketeoretiske evalueringer er temperaturen forholdsvis lavt, mens fuktigheten er forholdsvis høy for en konveksjonstørker. Forventningen er at med en høyere temperatur opp mot 26 °C og en lavere fuktighet en 40 % vil også tørkepotensialet økes og dermed en hurtigere tørking oppnås. De fleste

produsenter kan kjøre tørketemperaturer høyere enn 22 °C, men de fleste har vanskeligheter med å komme under 40 % inngående luftfuktighet med unntak av enkelt kammertørker med tørt produkt.

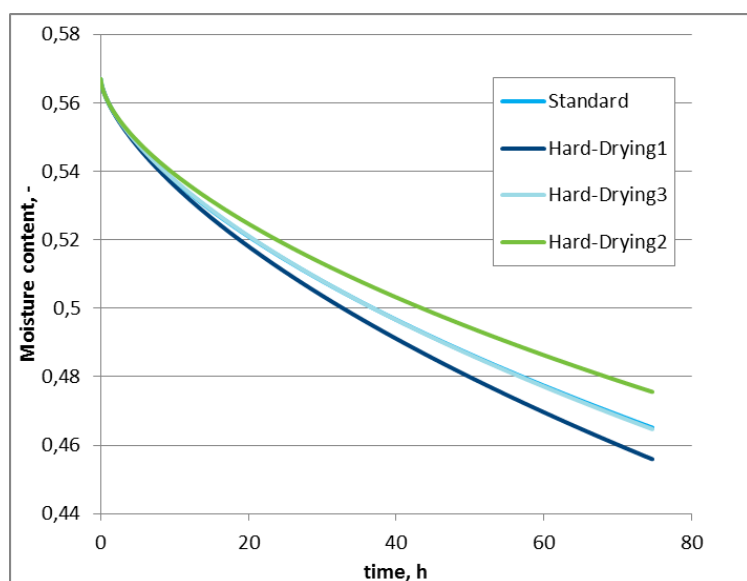
Det ble gjennomført lab-forsøk for å verifisere effekt av såkalt "hard-tørking", dvs. tørking med høy temperatur og lavt luftfuktighet. Forsøksoversikt er gitt i Tabell 1 og "hard" tørketemperatur er satt å være 26 °C og en "hard" luftfuktighet er satt å være 20 %.

Tabell 1: Oversikt av forsøkene "hard-tørking".

Eksperiment	Temperatur	Luftfuktighet	Lufthastighet
Standard tørking	22°C	40%	1.5 m/s
Hard tørking 1	26°C	40%	
Hard tørking 2	22°C	20%	
Hard tørking 3	26°C	20%	

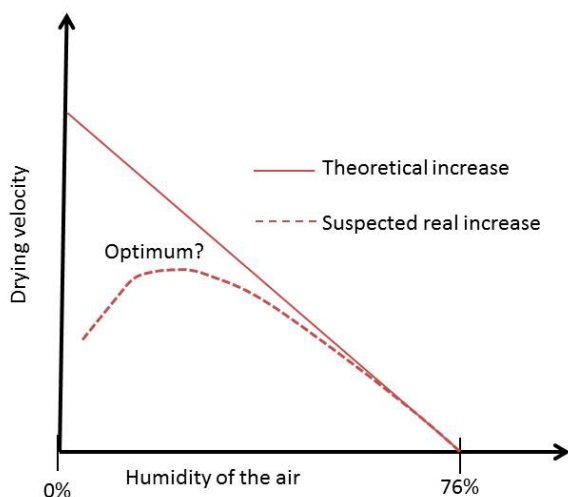
Figur 15 oppsummer gjennomsnittligskurvene av de gjennomførte forsøkene. Kvaliteten fra klippfisk fra alle forsøkene ble evaluert som bra og det var ingen synlig kvalitetsforskjell. Basert på disse forsøkene er det mulig å konkludere:

1. Hvis tørketemperaturen blir forhøyet fra 22 °C av 26 °C mens fuktigheten er 40 % så resultere dette i en hurtigere tørking (14 % reduksjon av tørketid mellom standard og "hard" tørket-1 klippfisk). Dette er som forventet i følge tørketeorien. Faren ligger derimot i og "brenne" produktene.
2. Hvis luftfuktigheten blir redusert fra 40 % til 20 % mens temperaturen er konstant 22 °C så blir tørkeprosessen forlenget (17,5 % lengre tørketid mellom standard og "hard" tørket-2 klippfisk). Dette er ikke som forventet i følge tørketeorien og skyldes sannsynligvis hardere tørrsjiktdannelse på overflaten.
3. Klippfisk som er tørket ved 22 °C og 40 % (standard) tørker med samme hastighet som klippfisk tørket ved 26 °C og 20 % (hard-tørking-3). Effekten fra en høyere tørketemperatur blir opphevet av effekten fra en lavere luftfuktighet.



Figur 15: Sammendrag av alle tørkekurver i forsøksserie "hard-tørking".

De gjennomførte forsøkene viste en negativ effekt på tørkehastigheten på grunn av for lavt luftfuktighet. Den effekten er ikke inkludert i vanlig tørketeorien, men er rapportert for noen produkter som bl.a. klippfisk, hvor en for lavt luftfuktighet danner en tett og kompakt tørrsjikt på overflaten som hemmer videre tørking. Det kan antas at det finnes en optimum for luftfuktigheten med hensikt til tørkehastighet for klippfisk som er illustrert i Figur 15. Men bakgrunn industrielle tørkeparametrene er det antatt det optimum ikke ligger langt fra 40 % luftfuktighet for klippfisk.



Figur 16: Teoretisk og antatt sammenheng mellom tørkehastighet og luftfuktighet for klippfisk.

6 Publikasjoner

Under gjennomføring av prosjektet blir det kooperert med en Post-Doc fra CREATIVE prosjektet som hadde til mål å evaluere energieffektiverende tiltak i tørkeprosesser. Derfor var det mulig å publisere flere artikler enn planlagt og utvide modellerings og simuleringens arbeid i prosjektet:

1. Bantle, M., T. Käfer, and T.M. Eikevik, Model and process simulation of microwave assisted convective drying of clipfish. *Applied Thermal Engineering*, 2013. 59(1–2): p. 675-682.
2. Bantle, M., E., T.M. Eikevik, I.C. Claussen, T. Andresen, Dynamic Process simulation of industrial heat pump drying of clipfish in 6th Nordic Drying Conference, S. Goncharova-Alves, O. Alves-Filho, and T. Eikevik, Editors. 2013: Copenhagen, Denmark. p. 8.
3. Bantle, M., E. Indergård, I.C. Claussen, P.E. Gullsvåg, and O.M. Magnussen, Case Study on Intermediate Storage and Mechanical Stress Treatment during Drying of Clipfish, in 6th Nordic Drying Conference, S. Goncharova-Alves, O. Alves-Filho, and T. Eikevik, Editors. 2013: Copenhagen, Denmark. p. 8.
4. Bantle, M. and J. Hanssler, Ultrasonic Convective Drying Kinetics of Clipfish During the Initial Drying Period. *Drying Technology*, 2013. 31(11): p. 1307-1316.
5. Bantle, M. and T.M. Eikevik, A Study of the Energy Efficiency of Convective Drying Systems Assisted by Ultrasound in the Production of Clipfish. *Journal of Cleaner Production*, 2013(0).
6. Bantle, M., J. Hanssler, I. Tolstorebrov, and T.M. Eikevik, Drying kinetics of codfish in the presence of high intensity airborne ultrasound, in *The 18th International Drying Symposium A.S. Mujumdar*, Editor. 2012: Xiamen, China.

7. Bantle M., Gullsvåg P.E., Nordtvedt T.S., Indergård E., Tolstorebrov I. Heat pump drying: Simulation and evaluation of a drying system for clipfish with main and storage drying, International Cold Chain Conference, 23.-25. June 2014 Londen, UK.
8. Bantle M., Gullsvåg P.E., Intermediate storage time and temperature for clipfish. Nordic Drying Conference 2015, Paper sent.

7 Kvalitetssikring av prosjektgjennomføring og resultater

Prosjektets kvalitetssikring ble basert på SINTEF konsernets kvalitetssikringssystem som beskrevet i SINTEF konsernets styringssystem (ISO 9001 og ISO 14001), som beskriver prosedyre som er relevant for å sikre en forsvarlig gjennomføring av prosjektet.

Styringsmøter ble avholdt jevnlig (6 ganger) fordelt over prosjektperioden hvor fremskrittet av prosjektet, arbeidsplanen og avvik ble diskutert. 7 Statusoppdateringer ble sent ut til FHF under prosjektgjennomføring.

Seniorforsker Tom Ståle Nordtvedt har sikret den faglige kvaliteten av prosjektet internt i SINTEF.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no