

# SALTFISK- OG KLIPPFISKNYTT FRA FHF

NUMMER 2/2010, OKTOBER 2010, ÅRGANG 2

## Klippfisk og energi



Faggruppe klippfisk/saltfisk

### GRUNNLEGGENDE KUNNSKAP. EFFEKTIVISERING OG ENERGISPARING

Les mer om blant annet:

- Grunnleggende tørketeknologi
- Tørketunneler - Utforming og drifting
- Varmepumper og Energi
- Anlegg for sluttørking
- Etterord / Oppsummering

## Gode klippfisk bedrifter

### Lorena Gallart Jornet

Fiskeri og Havbruksnæringens forskningsfond

Klippfisknæringa er en sektor som er avhengig av strøm/energi gjennom produksjon, og spesielt i tørkeprosessen. Energiutnyttelse vil derfor bli et viktig satsingsområde. I 2009 hadde vi økende strøm priser som var ugunstige for industrien, og i vinter kan dette gjenta seg. Ved slutten av september sier Olje - og energiministeren at prognosene for nivået i norske vannmagasiner ikke er gode. Derfor er det fare for gjentagelse i 2010 og da er spørsmålet: "Hva kan eventuelt gjøres for å unngå samme situasjon?". Kan vi redusere energiforbruk på en enkel måte og øke tørkingens effektivitet? Kan vi bruke noe annen energiform i tillegg til strøm? Hvilke tiltak kan næringen gjøre når kraftprognosene ikke er så positive?

Faggruppe klippfisk/saltfisk (tidligere Bacalaoforum) har - på vegne av FHF i samarbeid med SINTEF Energi AS, bidratt med en rekke av FoU prosjekter over flere år fokusert på energiutnyttelse om optimal tørking og lagring. Informasjon om disse prosjekter finner dere i FHF sin prosjektdatabase ([www.fhf.no](http://www.fhf.no)).

Jeg skal gi dere en kort oversikt om tema siden 2004. Sintef Energi AS og delvis Høgskolen i Ålesund, har jobbet med:

Prosjekt nummer	Bestemmelse av en optimal tørkeprosess for klippfisk:
FHF-44053	Forprosjekt: Nye Tørkesystemer
FHF-443133	Utvikling av nytt tørkesystem for klippfisk
FHF-900006	Klippfisk optimal tørking
FHF-900148	Sluttørking av klippfisk
	Bestemmelse av en optimal lager for klippfisk/saltfisk:
FHF 900007	Saltfisk optimal lagring
FHF 900009	klippfisk optimal lagring
FHF 900149	Lagerhold og klippfiskkvalitet

Viktig dokumentasjon ligger i prosjektenes rapporter, imidlertid har ikke næringen tid til å lese gjennom alt, og Faggruppa har i samråd med næringen bestemt seg for å arrangere et klippfisktørkings seminar, hvor SINTEF Energi viser dere på en didaktisk måte hvordan tørke prosjekter blir gjennomført. I tillegg vil utstyrs leverandør og organ for offentlige tilskuddsordninger blir med for å hjelpe med å utforme tiltak.

SINTEF Energi har oppsummert i denne brosjyren til næringen bl.a. grunnleggende tørketeknologi, tørketunnler, varmepumper og energi, anlegg for sluttørking og enkelte anbefalinger eller tiltak.

Jeg håper at dere får nytte av informasjonen, og ønsker dere god lesning. Ellers er det bare å ta kontakt med undertegnede

Med Vennlig Hilsen  
Lorena Gallart Jornet



## Grunnleggende tørketeknologi

### Ingrid C. Claussen Ola M. Magnussen

SINTEF Energi AS

#### Hvorfor tørker vi?

Tørking av næringsmidler ble tatt i bruk for å bevare mat over lengre perioder. Matvarer som kjøtt og fisk har kort holdbarhet uten tilsats av konserveringsmidler, termisk prosessering som kjøling/ frysing eller annen bearbeidning. Ved tørking fjernes mindre eller større andeler av vannet i produktet. Samtidig senkes også vannaktiviteten, som er et mål for tilgjengeligheten av vann.

Vann spiller en viktig rolle i forhold til egenskapene til en matvare, som teksturen til matvaren, i tillegg til den kjemiske stabiliteten. Flere kjemiske reaksjoner som skjer under lagring er knyttet til tilgjengeligheten av vann.

Samtidig er den mikrobiologiske aktiviteten også avhengig av hvor mye vann matvaren inneholder, og jo mere vann som fjernes fra et produkt dess lengre er holdbarheten til produktet med hensyn til mikrobiologisk ødeleggelse. Ved tørking av fisk økes derfor den mikrobiologiske holdbarheten betraktelig.

Tørking gir:

- Økt holdbarhet
- Endret smak og konsistens

#### Hva er vannaktivitet?

Vannaktivitet er ofte viktigere enn selve vanninnholdet i et produkt i forhold til holdbarhet. Tilgjengeligheten av vann i en matvare er gitt ved vannaktivitet ( $a_w$ ).

Forskjell i vannaktivitet mellom to systemer (feks mat og luft) er et mål for

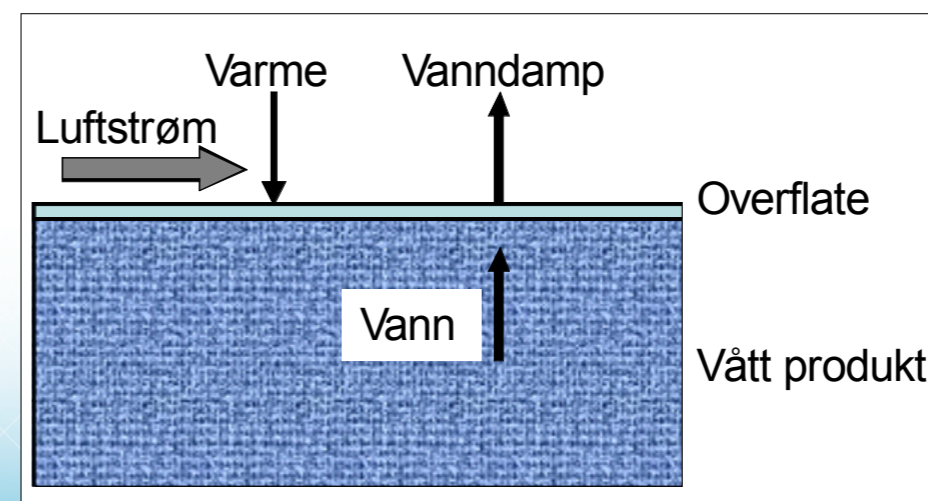
den drivende kraften for utveksling av vannmolekyler mellom disse to systemene. Vannaktiviteten definerer retning for endring, og vann flyttes fra et system med høy vannaktivitet til lavere vannaktivitet når temperaturen i systemene er den samme.

Innstilles det likevekt mellom produkt og omgivende luft (feks i et lagerrom), så kan prosent relativ fuktighet til lufta brukes til å beregne vannaktiviteten i matvaren.

Det kan imidlertid ta lang tid før det innstilles likevekt mellom et næringsmiddel og luften rundt produktet, og likevekten er sterkt avhengig av hvor lett produktet kan avgi og oppta vann.

#### Hvorfor tørker et produkt?

Drivkraften i en tørkeprosess er forskjell i vandamptrykket for vannet i produktet og damptrykket i omgiende luft. Fordamping av vann krever betydelig med energitilførsel og må overføres fra luft til produktoverflate og videre innover i produktet under tørkeprosessen. Fordampningsfronten eller det sjiktet fordampingen skjer ved, flyttes dermed gradvis innover i produktet.



Tørking av fuktig overflate og gjennom tørrsjikt.

# Tørketunneler – Utforming og drifting



Tørking av saltfisk  
(Foto: Claussen, SINTEF)

## Tørkeforløpet for klippfisk

Det er blitt utført en mengde tørkeforsøk de siste årene som har gitt grunnlag for kunnskap om tørketekniske egenskaper til saltfisk. Denne kunnskapen er av avgjørende betydning både ved vurdering av kjøreplan og energiforbruk. Resultatene viser at tørkehastigheten for klippfisk avtar sterkt etter at overflatevannet er fjernet. Dette skjer pga et damptrykkfall i det tørre sjiktet på overflaten eller endring i vannaktivitet til produktet.

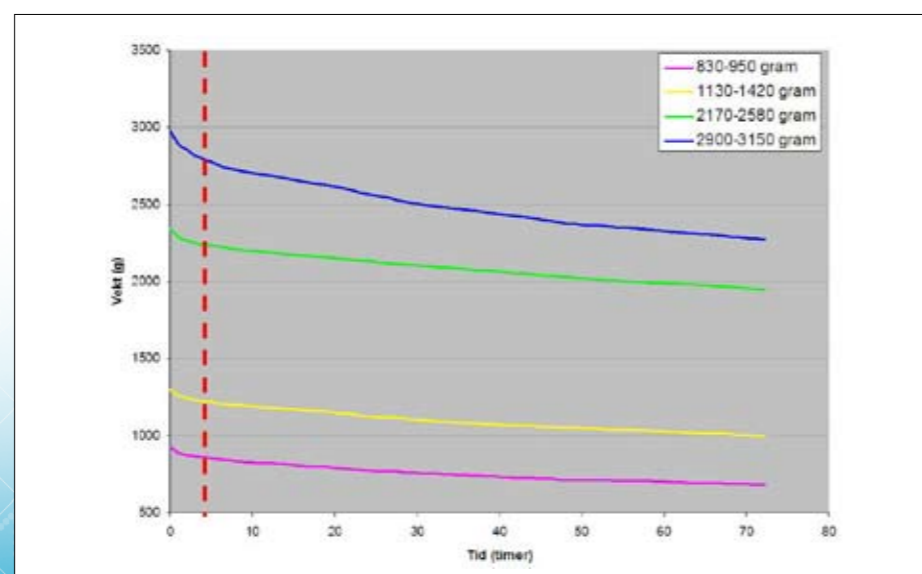
Overgangen mellom det vi kaller første og andre tørkefase skjer allerede etter noen timer i tørketunnelen. Da er alt overflatevann fjernet og det begynner å dannes et tørrsjikt på overflaten.

Figuren viser tydelig at tørkehastigheten synker. Etter 1-1,5 døgn i tørken vil tørkehastigheten flate ut, og vil ikke

endres selv med høy lufthastighet og lav fuktighet i tørkeluften.

I denne perioden er det derfor viktig at produsenten regulerer driftsparametrene (justerer vifter og aggregat) for å minke "energisluket" i prosessen.

Tørkekurver for klippfisk av torsk.  
Den vertikale stiplede linjen viser overgangen mellom de to tørkefasene  
(Figur: Claussen, SINTEF)



Ingrid C. Claussen  
Ola M. Magnussen  
SINTEF Energi AS

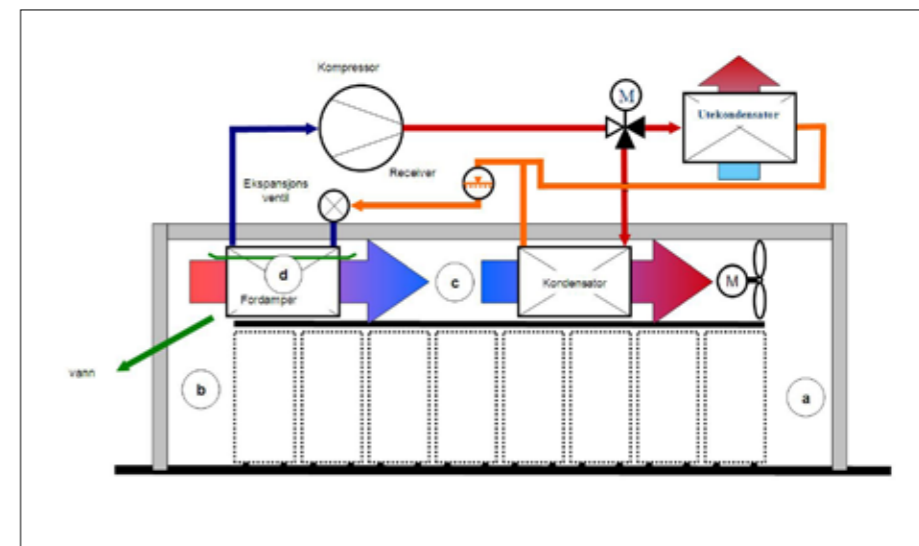
## Innledning

Effektiv tørking er avhengig av temperatur og luftfuktighet, og at tørkeluften er i kontakt med hele overflaten av produktet som skal tørkes. På denne måten fjernes vannet som fordampet fra produktet mest effektivt. Vanndampmengden som avgis fra produktet er størst ved starten av tørkeprosessen, og høy lufthastighet over tørkeflaten kreves for å få effektiv fjerning av vannet/vanndampen.

## Langblåst eller tverrblåste tørker?

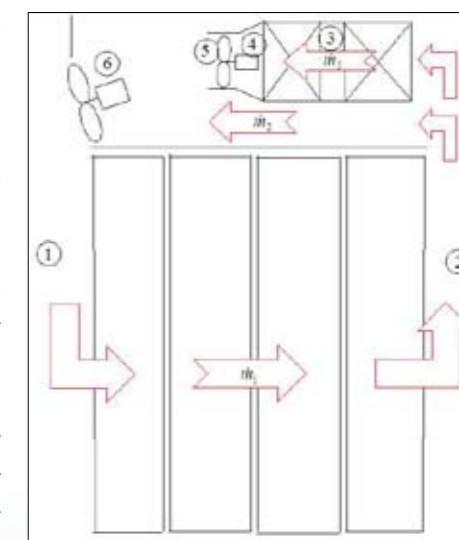
I en langblåst tørke vil tørkeluft varmes opp og blåses gjennom en lang rekke vogner for og best mulig utnytte luftens evne til vannopptak. De fleste langblåste tørker er i dag bygget slik at tørkeluften sirkulerer i en lukket krets hvor vannet fjernes ved nedkjøling i fordampere og oppvarming i kondensator, som vist i figuren. Tørkeluften avfuktes i en varmepumpe, noe som medfører redusert energibehov og at produksjonen ikke er avhengig av uteluftens tilstand. Tunnelen kan dermed utnyttes maksimalt hele tiden. Tørkeprosessen er tilnærmet kontinuerlig ved innsetting av saltfisk og uttak av klippfisk regelmessig.

En normal tverrblåst tørke har en tunnelform som krever stor luftmengde og luftsirkulasjon ved "normal" drift. Dette medfører at bare en del av lufta



Prinsippskisse for en langblåst varmepumpetørke til klippfiskproduksjon.  
(Figur Magnussen, SINTEF)

vil gå igjennom varmepumpa og luften deles i 3 delstrømmer som vist i figuren. 1 markerer luftstrøm gjennom vognene med fisk, 3 markerer luft som avfuktes og varmes i varmeveksleraggregatet, og 2 markerer luft som strømmer tilbake til sirkulasjonsviften uten å avfuktes/behandles. Delstrømmene 2 og 3 blandes foran viftene for tunneluft (foran punkt 6). Tverrblåste tørker er billige i innkjøp og enkle og operere, men gir ujevn tørking og er svært energikrevende. Beregninger viser at de tverrblåste tørkene bruker opptil fem ganger så mye energi sammenliknet med langblåste tunneler. Ved å resirkulere luft, samt benytte et avfuktingsaggregat til å fjerne vann, kan de tverrblåste tørkene forbedres. Energiforbruket senkes ytterligere ved å benytte mer effektive, regulerbare vifter og regulering av aggregat etter avfuktingsbehov.



Prinsippskisse tverrblåst klippfisktørke.  
(Figur Magnussen, SINTEF)

**Motstrøms eller medstrøms tørker?**

I en *medstrøms tørke* er det høy tørkehastighet i den "fuktige" enden av tunnelen. Dette er mulig fordi relativt høye lufttemperaturer kan benyttes uten å skade materialet. Materialets overflate vil ha en temperatur tilnærmet tørkeluftens våtkule-temperatur, så lenge overflaten av materialet er fuktig. Høy tørkehastighet i starten medfører at materialet får en relativ lav bulk tetthet da material ikke skrumper så mye. Når materialet flyttes lengre inn i tunnelen kommer det i kontakt med kaldere og fuktigere luft. Tørkehastigheten synker og eventuelle materialskader begrenses. Medstrøms prinsippet er godt egnet for varmeømfintlige materialer. Et veldig lavt fuktighetsnivå er vanskelig å oppnå pga de "dårlige" tørkebetingelsene i den "tørre" enden av tunnelen. Her vil tørkeluften ha sin laveste temperatur og høyest fuktighet.

I en *motstrøms tørke* vil en få relativt lav tørkehastighet i den "våte" enden av tunnelen pga at tørkeluften har sin laveste temperatur og høyeste fuktighet. Lav tørkehastighet i starten medfører at materialet får en relativ høy bulk tetthet da materialet skrumper jevnt. I den "tørre" enden av tunnelen er tørkebetingelsene gode i og med at en her har tørr og varm luft. Dette gjør det mulig å oppnå lav fuktighet i materialet, men medfører også fare for at materialet kan utsettes for en for høy temperatur og dermed få redusert kvalitet. En motstrøms tunnel tørke bruker vanligvis mindre energi enn en medstrøms tørke.

Det er utført omfattende måleprogram ved fem forskjellige klippfiskanlegg i Norge og tabellen viser resultatet målt spesifikk energiforbruk per tonn klippfisk.



Saltfisk på brett til tørking. Ulik størrelse og overlapp medfører ujevn tørking. (Foto: Claussen, SINTEF)



Luftkanaler mellom brett på vogn. (Foto: Claussen, SINTEF)

**Målt energiforbruk ved tørking**

TYPE TØRKE	Antall vogner i luftretning [stk]	Antall vogner totalt [stk]	Energibehov totalt [kW]	Energibehov per vogn [kW/vogn]	Målt spesifikk Energiforbruk [kWh/tonn klippfisk]
Langblåst (gammel)	22	154	102	0,66	159
Langblåst (ny)	16	80	63	1,27	190
Langblåst ("eldre")	18	54	40,1	0,74	129*
Tverrblåst (tradisjonell)	3	24	39,6	1,65	396
Tverrblåst (ny)	4	40	90	2,25	540

\*Ved dette anlegget ble vogner tatt ut til etter-/ sluttørking i arbeidshall. (tabell, SINTEF)

**Drifting av tunnelene**

Drifting av tørkeprosessen er sentral for utnyttelsen og energibruken i anleggene. Ved pålegging bør fisk sorteres etter størrelse, og en bør unngå at fisk stues oppå hverandre. Nye målinger viser at fiskeslag, størrelse, flekking og saltmodning er viktig for tørkehastighet og jevnhet.

Tradisjonelt benyttes trebrett med avstandsklosser på 50-70mm som med pålagt fisk gir for små luftkanaler. I tillegg benyttes avstandsklosser av ulik størrelse om hverandre i vognene, uten at fisk sorteres etter størrelse. Resultatet er at noe fisk tørker veldig dårlig pga at tørkeluften ikke går over alle brett.

Alle tørkeforsøk viser at høyest mulig temperatur under hele tørkeperioden gir raskest tørking, og at grensen for "brenning" er 26 °C. Ved start av tørking og under hovedtørkingen bør en ha lav luftfuktighet slik at mest mulig av lett fjernet vann opptas raskt. Ved luftutløp fra tunnelen må luftfuktighet være høy for at tørkene skal kunne ha høy energieffektivitet. Temperatursenkingen gjennom tunnelen viser varmemengden avgitt for å fordampe vann, og er slik et mål for effektiviteten.

En kritisk faktor for utnyttelse av tørkeluften er utfylling av tunnelvernsnittet. SINTEF Energi AS har utført målinger som viser at opptil 50 % av målt luftmengde gjennom tørketunnelen er falskluft som går utenom vognene. Luftfuktighet og lufthastighet over



Bildet viser falskluftkanaler over og under vognene. (Foto: Claussen, SINTEF)

produktoverflaten er viktig for varme og masseoverføringen, spesielt i første fase av tørkeprosessen. Dette krever jevn lufthastighet over tunnelvernsnittet, og at luften går over fisken i vognene og ikke utenom disse.

Måling av lufttemperatur og luftfuktighet er sentralt ved drift av anlegg og styring av tørkeprosessen. Slikt måleutstyr er en forutsetning for at operatørene skal vite – og ikke bare tro hvordan anlegget skal reguleres.

For langblåste tunneler er det vanligvis god plass for inn og utkjøring av vogner, og for lav lufthastighet og jevnt trykk over høyden. Trykkforskjellen mellom innløp og utløp er drivkraften for luften gjennom brett og vogner, men også andre åpninger eller kanaler som over, under og mellom vognen. Kanalene langs tak, vegger og gulv

er også større, har glattere flater enn kanalene mellom brett og vogner, noe som gir lavere strømmingstap. Dette kompenseres ved større lufthastighet i åpningene. For tverrblåste tunneler er plassen ved inn- og utløp for liten og gir trykkforskjeller øverst og nederst i tunnelen på grunn av hastighetsvariasjoner. Dette resulterer i skjev luftfordeling og stor falskluft, spesielt ved gulv.

**Tiltak for å bedre luftsirkulasjonen kan være;**

1. Tilpass vognene etter tunnel bredde og høyde
2. Bedre stuing av fisk (sortering, unngå overlapp)
3. Øk høyden mellom hvert brett (minimum 70 mm)
4. Unngå falskluftkanaler ved å benytte "flaps" av gummi

Ingrid C. Claussen  
Ola M. Magnussen  
SINTEF Energi AS

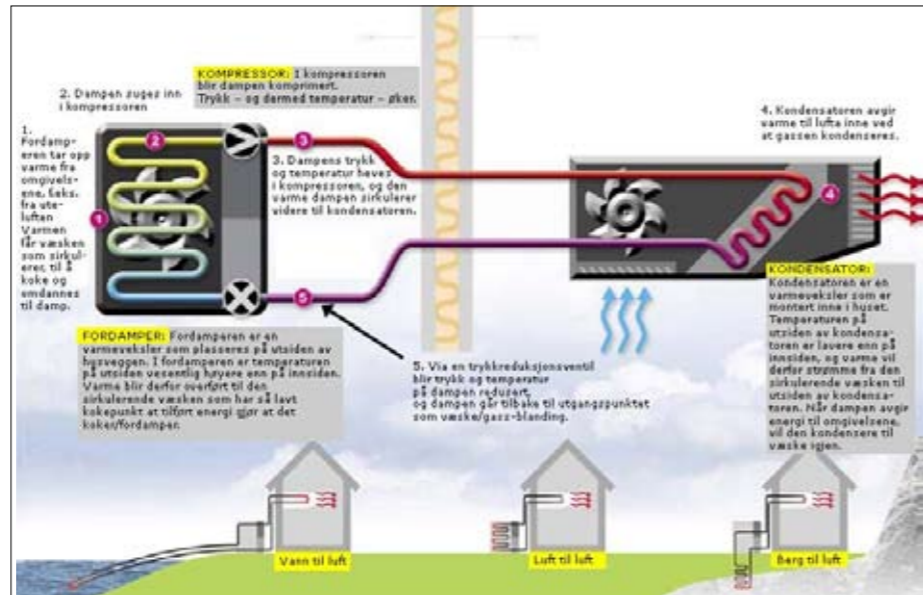
### Energi og energitransport

Varmemengden består i hovedsak av følbare varme (temperaturen endres) eller latent varme (faseovergang som: vann - is og vann - damp) og måles vanligvis i kWh. Drivkraften for transport av varme er temperaturforskjellen til omgivelsen, jo høyere temperatur jo mer arbeid kan vi få ut av energimengden.

Drivkraften i all varmetransport er temperaturforskjellen, og varmeenergien går alltid av seg selv mot lavere temperatur og er linjert (øker jevnt) avhengig av denne. Varmen strømmer til eller fra et produkt inntil likevekt med omgivelsen, og tiden det tar avhenger av varmetransporten mot omgivelsen. Eksempelvis er energimengden for fordamping eller kondensasjon av vann svært stor, og siden varmeovergangen ved kondensasjon på en kald flate er stor, varmes denne svært raskt. Ønsker vi å hindre varmetransport benytter vi materialer med liten evne til varmetransport, gjerne gasser i hulrom med lav varmeledningsevne.

### Prinsippet for varmepumpeprosessen

Som nevnt kan ikke varme strømme av seg selv fra et sted med lav temperatur til et sted med høyere temperatur. Ved hjelp av en varmepumpe kan en imidlertid ved tilførsel av for eksempel



Generell beskrivelse av prosessforløpet til et varmepumpeanlegg. (Foto: Gemini 2003)

elektrisitet, transportere varme fra omgivelsene til et høyere temperaturnivå der varmen kan anvendes, for eksempel til bygningsoppvarming eller i en tørkeprosess.

For å kunne transportere varme fra et lavere til et høyere temperaturnivå benyttes et arbeidsmedium som er valgt slik at det fordampes og kondenseres ved ulike temperaturer avhengig av trykket. Arbeidsmediet har i oppgave å ta opp varme på den kalde siden og avgir varme på den varme siden. Arbeidsmediet sirkulerer i en lukket krets og gjennomløper kontinuerlig en serie tilstandsforandringer. I varmepumpekretsen inngår fire hovedkomponenter som vist i figuren; fordampere, kompressor, kondensator og strupeventil (også kaldt ekspansjonsventil).

Ved hjelp av kompressoren suges gass fra en varmeveksler (fordampere) fylt med arbeidsmedium, og trykket reduseres. Derved synker temperaturen arbeidsmediet fordampes ved. Kompressoren suger ned trykket i fordampere inntil fordampningstemperaturen kommer under omgivelsestemperaturen. Dermed vil varme strømme fra omgivelsene (feks luft eller sjøvann) og inn til fordampere, og få arbeidsmediet til å koke (fordampere). Varmen overført fra omgivelsene lagres altså i arbeidsmediet i form av fordampingsvarme.

Kompressoren komprimerer så gassen slik at trykket, og følgelig temperaturen stiger. Den komprimerte, varme gassen skyves inn i en ny varmeveksler (kondensator). Kondensatorens utløp er stengt ved hjelp av væskelås, slik

at trykket i kondensatoren bygger seg opp inntil kondenseringstemperaturen overstiger temperaturen til det varme opptakene mediet (feks tørkeluft).

En varmemengde tilsvarende den varmemengden som opptas i fordampere (fordampingsvarmen) og tilført energi til kompressor (feks elektrisitet), vil så strømme fra arbeidsmediet til tørkeluften. Gassen kjøles, kondenseres og går over til væske. Det kondenserte arbeidsmediet (kondensatet) føres tilbake til fordampere via en strupeventil, hvor trykket senkes fra kondensatortrykk til fordampetrykk. Strupeventilen fører like mye arbeidsmedium tilbake til fordampere som det som har fordampet.

### Arbeidsmedier for varmepumper

Valg av arbeidsmedium vil være avhengig av bruksområde, systemløsning og utforming av bygningen hvor anlegget skal installeres. Flere av de såkalte naturlige arbeidsmediene kan være viktige alternativer for fremtiden. Ammoniakk er, sammen med CO<sub>2</sub> nå den klart dominerende gruppen av arbeidsmedier, og de eneste blant de første arbeidsmediene som fremdeles har noe særlig utbredelse. På grunn av sine svært gode termodynamiske egenskaper er NH<sub>3</sub> mye benyttet i industrielle anlegg og har de senere år fått en stadig større utbredelse i Nord-Europa, spesielt på mellomstore og store kjøle- og varmepumpeanlegg

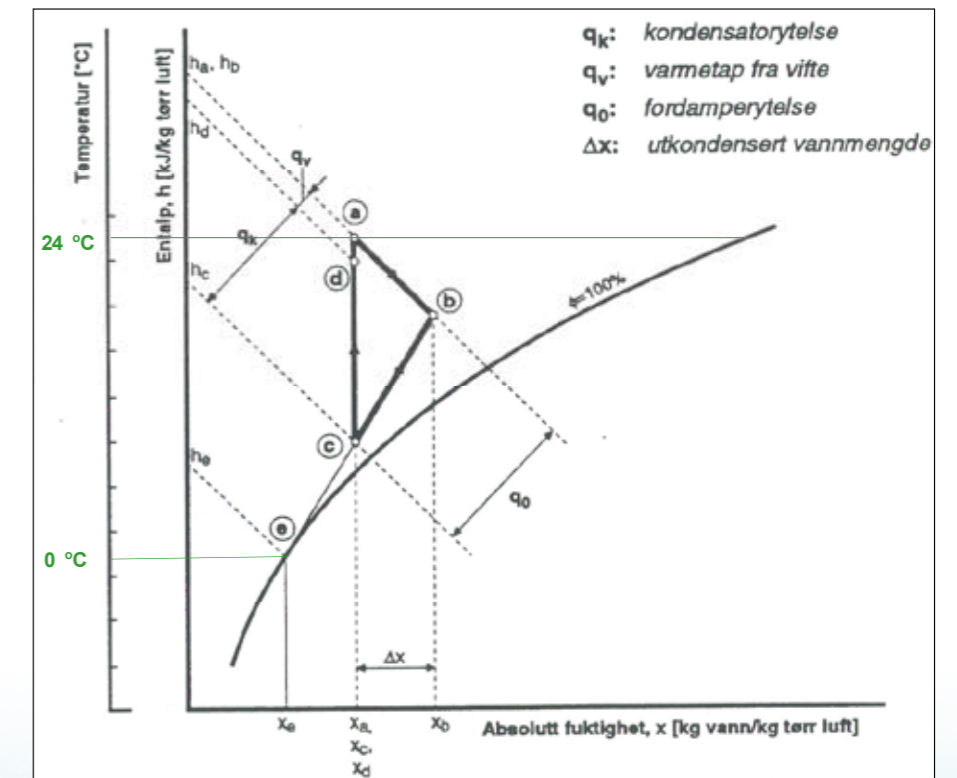
Varmepumper brukt i industrielle konfigurasjoner vil kunne gi en besparelse i kwh på 40%

### Energiforhold i varmepumpeprosessen

Det kan være behov for forbedringer også for varmepumper installert på klippfiskanlegg. Anleggets systemløsning, oppbygging, komponenter og spesielt styre- og reguleringsystem er avgjørende for energieffektiviteten. Energien finnes nemlig i den fuktige luften.  $dh/dx$  forholdet som en finner igjen i Mollier-diagrammet er viktig, og angir hvor mye energi som trengs for å

fjerne 1 kg vann fra produktet. Dersom luftens relative fuktighet ut av tørketunnelen ikke er høy, øker  $dh/dx$  forholdet, og det betyr at en må bruke mer energi for å tørke produktet. Det gjelder derfor å oppnå best mulig oppfukning av tørkeluften gjennom tørketunnelen.

$h-x$ -diagram (Mollier-diagram) som viser prinsipiell tørking av klippfisk (Figur: Magnussen, SINTEF)



### Tørkeprosessen i h-x-diagrammet framstilles ved:

- a-b: Luftstrøm gjennom tørketunnel. Oppfukning langs konstant entalpi
- b-c: Kjøling av tørkeluften gjennom fordampere. Luften blir her avfuktet ved at vanddampen kondenseres på fordampere overflate. Utfelt vannmengde  $\Delta x$
- c-d: Oppvarming av tørkeluften gjennom kondensatoren. Den absolute fuktigheten er konstant i denne prosessen
- d-a: Luftstrøm gjennom viften med entalpiøkning lik vifteeffekten. Absolute fuktighet er konstant
- e: Lufttilstanden nær fordampere overflate (100 % relativ fuktighet)

Ingrid C. Claussen  
Ola M. Magnussen

SINTEF Energi AS

### Innledning

Sluttørking på eget lager vil kunne gi økt produksjon og reduserte energikostnader. Mye av potensialet kan tas ut i eksisterende anlegg uten store investeringer. Løsningen består i å ta ut fisk fra tunnelen før den er helt tørr, og overføre fisken til egnet lager der sluttørking gjennomføres ved å tilføre oppvarmet uteluft. Oppvarmingen kan gjøres ved å utnytte overskuddsvarmen fra varmepumpen som i dag stort sett blir dumpet ute. Tørketunnelen er et "lukket" system, og energien som tilføres via kompressor og vifte må fjernes igjen fra systemet.

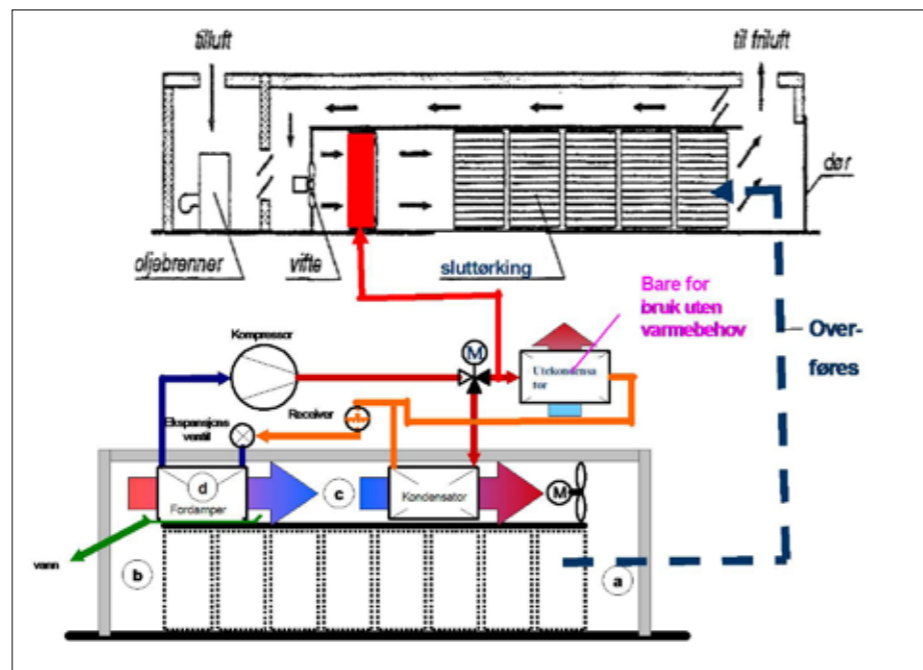
Så å si all industriell framstilling av klippfisk foregår i dag innendørs ved at saltfisk legges på brett som stables i høyden på vogner, og innsettes i tunneler med styrt luftsirkulasjon og lufttilstand. Det benyttes i dag i hovedsak tre hovedtyper av avfuktingsløsninger for tunnelene, og ettertørkeløsningene må tilpasses driften ved disse.

#### 1. Hordetunneler

Langblåst motstrømsstyrke som benytter uteluft i tørkeprosessen. Dette gir lavt tørkepotensial ved høy ute temperatur og luftfuktighet (sommer/høst). Den opprinnelige klippfisktørken.

#### 2. Langblåste varmepumpetørker

#### 3. Tverrblåste tunneler



Ettertørring med overskuddsvarme fra semi-kontinuerlig varmepumpe tørke i tradisjonell hordetørke. Tilluft og omluft reguleres av spjeld for styring av luftfuktigheten. (Figur Magnussen, SINTEF)

### Avfuktingshastighet ved sluttørking

Det er gjennom de siste år vært gjennomført systematiske tørkeforsøk for å øke kunnskapen om effekten av temperatur, luftfuktighet og lufthastighet på tørkehastigheten. Som nevnt tidligere så synker tørkehastigheten raskt etter at overflatevannet er fjernet, og etter 1-1,5 døgn vil tørkehastigheten flate ut. Høy lufthastighet og lav relativ luftfuktighet vil ikke påvirke tørkehastigheten nevneverdig. Relativ fuktighet i tørkelufta bør imidlertid være lavere enn saltlakens likevektsfuktighet som er 76 %. Dette skyldes trolig at vannstrømmen fra det indre av fisken er langsommere enn fordampingen fra

overflaten. Dette forårsaker en kraftig uttørring av overflatelaget som danner en "hinne" (tørssjikt) mot videre tørking, delvis også av at væsketransporten fra det indre bringer med salt som krystalliseres i tørssjiktet når vannet fordampes. Selv om ikke årsakene til den langsomme sluttørkingen er helt klarlagt kan en konstatere at tørkingen etter at tørssjiktet er dannet går svært langsomt. Dette gir lite energieffektiv tørkeprosess.

En betydelig økning i tørketunnelens kapasitet kan oppnås ved bedre utnyttelse av avfuktningssystemet. Anslagsvis kan dette gi en kapasitetsøkning omkring 20-40 % for langblåste tun-

neler. Å finne alternative løsninger for sluttørking av fisken, beregninger av ytelsesbehov, størrelse på aggregat og praktiske tekniske løsninger, er derfor viktig.

Tørkeforsøk viser en betydelig økning i tørketunnelens kapasitet og utnyttelse av avfuktningssystemet dess mer "ny og våt" saltfisk som settes inn i tunnelene. Selv ved lange langblåste tunneler viser målingene at luftfuktigheten ut fra fiskevognene ofte er for lav etter første del av tørkingen.

Ved å ta fisk med et godt tørssjikt ut fra tørketunnelen, hvor siste fase av tørkingen like effektivt kan gjøres ved lav lufthastighet og relativt høy luftfuktighet, vil dette gi plass til mer "ny og våt" fisk og derved økt utnyttelse av kostbar tunnel. Sluttørkingen av fisken kan gjennomføres i enklere lager eller rom med lavere lufthastighet og mindre krav til luftfuktighet.

### Energieffektiv ettertørring

Som ved hovedtørringen vil energikostnaden ved avfuktning være avhengig av tørketemperaturen og fuktinnhold. Siden tørkehastigheten etter målingene er lite avhengig av relativ fuktighet er det derfor viktig at en holder temperaturen oppe for å opprettholde luftas vannopptak. Hvor nært en kan holde fuktigheten vil også være et praktisk – økonomisk spørsmål ut fra hvordan ettertørka er utformet og krav til luftsir-

kulasjon for å opprettholde like forhold under ettertørringen. Videre forutsettes å holde en fuktighet på 60 – 70 % for å få energieffektiv tørking ved bruk av avfuktingsaggregat. Ved høyere luftfuktighet vil tørkingen gå langsommere og stoppe ved 76 % RH.

### Systemløsninger for ettertørring

Uavhengig av utforming av tørkeanlegg vil kapasiteten kunne økes ved at fisken i siste del av tørkeprosessen overføres til ettertørring i et anlegg hvor avvanningskapasiteten er tilpasset den lave tørkehastigheten. Med de store forskjeller en registrerer mellom tørkeanleggene, både når det gjelder tørketyper, kapasiteter og bruk av utstyret **må ettertørkeløsningen tilpasses tørkene og driftsrutiner**. Ut fra målinger og registreringer de siste år tyder det imidlertid på at overføring til ettertørring vil avhenge av tørketyper som benyttes, og at utnyttelsen kan generelt bedres ved at fisk tas ut til ettertørring slik at en oppnår høyere fuktighet i luften ut av tørken. Det er også viktig at det benyttes måleutstyr og styring av omluften avhengig av uteluftens tilstand slik at avluften har høyt vanninnhold. Generelt sett vil en økning av mengde fisk innsatt og til ettertørring ligge mellom 1/3 – 2/3 og gi betydelig bedret kapasitet og energieffektivitet.

### Ettertørring ved utnyttelse av kondensatorvarmen

Under lufttørring er energiinnholdet i luften konstant gjennom tunnelen fordi energimengden som overføres til fis-

ken som varme, er lik energimengden som avgis fra fisken som damp. Nedkjøling/kondensering av luften i varmepumpen vil derfor også kreve samme energimengde som oppvarmingen av luften igjen. Energien til "løfting" av varmen fra kjøler til kondensator (gjennom kompressoren), samt vifteenergien blir da overskudd og må fjernes (bortsett fra energibehovet for oppvarming av kald innsatt fisk). Ved de fleste produksjonsanleggene som er undersøkt blir denne energimengden dumpet til uteluft via en kondensator. Uten ekstra energikostnad kan denne energien nyttes til oppvarming av uteluft til tørkeformål, på tilsvarende måte som ved de tradisjonelle hordetørker.

### Regneeksempel; overslag over kapasiteter

Anlegg for arrangement for sluttørking må tilpasses hvert enkelt eksisterende anlegg. For å vise energipotensialet med å gå over til denne metoden, er data fra en av de undersøkte tørkene benyttet til overslag over kapasiteter.

Et anlegg har 3 x 18 vogner á ca. 350 kg saltfisk og energiforbruk til kompressor og vifter totalt ca. 40 kW. Antar 50 % falskluft som ga luftfuktighet til fordampes ca. 64 % og energiforbruket ca. 130 kWh/tonn klippfisk. Med sterkt redusert falskluft og mer vann vil trolig utgående fuktighet stige, et lavt anslag er 70 % RH. Dette vil etter overslagsberegning gi ca. 25 % øket avvanning og en oppnår en energibruk på under 100 kWh/tonn klippfisk. En rimelig oppnåbar tørkekapasitet er i størrel-

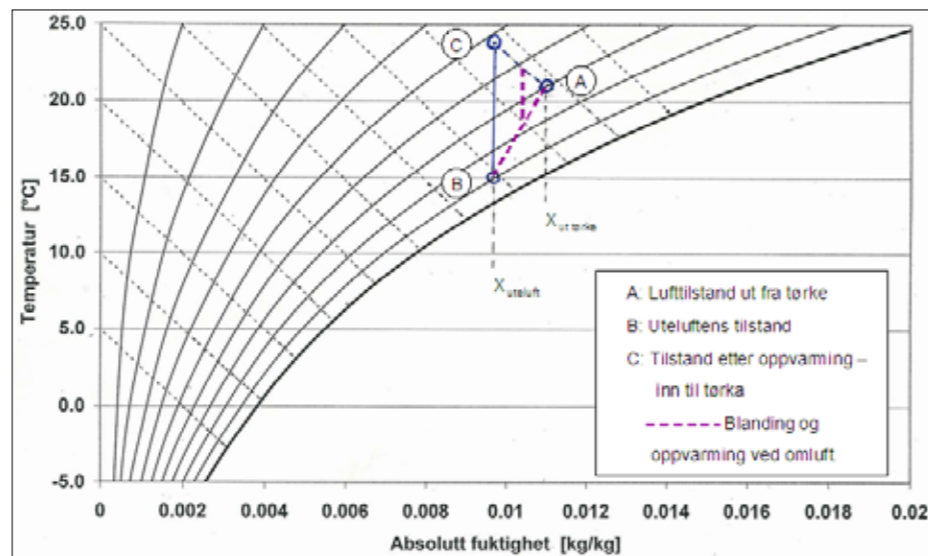
# Anlegg for sluttørking

sesorden 1/4 til 1/3 vil da være rimelig idet denne del av tunnelen overføres ettertørking.

Tørkehastigheten ved sluttørking er lite avhengig av lufthastighet og luftfuktighet og utformingen av selve rommet er ikke kritisk. Likevel kreves arrangement slik at luftstrøm og fuktighet kan styres og løsningen må gjøre kontroll av tørrhet på vognene, inn – uttak praktisk, mv. Ved de tradisjonelle tørker er omluftmengden ofte stor for å opprettholde lufthastigheten over fisken og derved tørkingen. Ved ettertørking er behovet mindre og oppvarmingen kan være direkte i tilluften og arrangementet kan være enklere.

En slik løsning med en ettertørketunnel med lav, men godt styret luftstrøm vil også tillate å overføre mer av fisken tidligere ved gode utvendige luftforhold. For å opprettholde ønsket luftfuktighet under ettertørkingen må fuktig luft fra ettertørka byttes ut med uteluft med lavere absolutt fuktighet. For en gitt vannmengde som avdamper og som kan beregnes ut fra tørkeforsøk, vil nødvendig friskluft kunne bestemmes. For at den tilførte luft skal kunne blandes med lufta i tørka og tilstanden der opprettholdes må luftas oppvarmes til samme energiinnhold som utgående luft.

Forutsetningen for å kunne utnytte uteluft til tørking er at luftens vanninnhold er lavere enn ønsket fuktighet i tørkeluft som vist i Moiller-diagrammet.



Ettertørkeprosessen vist skjematisk i h – x diagrammet for fuktig luft

Videre ser en at med avtagende fuktighet og konstant utetemperatur reduseres behovet for inntak av uteluft omtrent lineært. Samtidig øker energi-behovet ( $\Delta h_{C-B}$ ) pr kg luft, men økningene er mindre enn i luftbehovet (eller økningen i  $\Delta x_{u-}$ ).

### Beregningsmetodikk - et eksempel

Siden det ikke umiddelbart er lett å se fra diagrammet og fra enkle vurderinger er valgt å vise effekten ved beregninger. En har da valgt fortsatt å ta utgangspunkt det tørkeanlegg hvor en har gode målinger av forholdene.

Anlegget har 3 x 18 vogner som med middels stor fisk pålegges ca. 350 kg saltfisk. Om en fortsatt forutsetter at en tar ut 1/3 av total kapasitet til ettertørking utgjør dette 18 x 350 = 6 300 kg pålagt fisk. Ut fra målinger av tørkehastighet for klippfisk har en vist at det er forskjeller mellom fiskeslag, størrelse, skjæring, saltmodning, mv. Som et utgangspunkt er benyttet midlere verdi for vekttapet for innlagt saltfisk er mellom 2 – 1 g/time, kg innlagt saltfisk eller en midlere verdi på 1,5 g/h, kg. Dette vil da kreve et avvanningsbehov i størrelsesorden:

$$\text{Vanntap: } M_{FL} = 1,5 \cdot 6300 = 9450 \text{ g vann/time eller ca. } 9,5 \text{ kg vann/time.}$$

Dette synes rimelig sammenlignet med målt avvanning i den nevnte tørketunnelen på ca. 54 kg/time. 20 % av belastningen er flyttet fra tunnelen til sluttørken, og mengden fisk i tunnelen er økt med 33 % uten at energiforbruket er økt.

### Energibehov for å varme uteluft

De fleste produksjonsanleggene ligger ved kysten, og middeltemperaturene i Trøndelag og Møre og Romsdal varierer i stort sett mellom 2-18 °C, og en vanlig temperatur vil være rundt 10 °C noe som er utgangspunktet i videre beregninger. Videre er det forutsatt at tørkeluft ut fra fisken under sluttørking skal ha en temperatur på 22 °C og 70 % relativ fuktighet

Ut fra Figur 8 får man energi i luften ut fra sluttørkingen:

$$x_{\text{ut tørke}} = 0,0116 \text{ kg vann/kg luft og } h_A = 51,5 \text{ kJ/kg luft.}$$

Ved vanlig utelufttemperatur på 10 °C og ugunstig vær med fuktighet på 90 % er energiinnholdet i uteluften på:

$$x_{\text{uteluf}} = 0,0069 \text{ kg/kg luft og } h_B = 27,3 \text{ kJ/kg luft.}$$

Nødvendig friskluft blir da:

$$M_{FL} = 9,5 = (x_{\text{ut tørke}} - x_{\text{uteluf}}) \cdot L_{\text{ut-inn}} = (0,0116 - 0,0069) \text{ som gir:}$$

$$L_{\text{ut-inn}} = 2021 \text{ kg/time} = 0,56 \text{ kg/s}$$

Nødvendig oppvarming av uteluften blir:

$$\text{Oppv.} = (h_C - h_B) \cdot M_{FL} = (51,5 - 27,3) \cdot 0,56 = 13,6 \text{ kW}$$

Dette utgjør bare 34 % av tilgjengelig kondensatorvarme som med antatte lufttilstander kan fjerne ca. 28 kg vann/time (eller i størrelsesorden 50 % av det den installerte tørken klarte opprinnelig).

Ved ugunstige værforhold for tørking: 15 °C og 90 % fuktighet blir:

$$M_{FL} = 9,5 = (0,0116 - 0,00964) = L_{\text{ut-inn}} \text{ som gir:}$$

$$L_{\text{ut-inn}} = 4318 \text{ kg luft/time} = 1,2 \text{ kg/s}$$

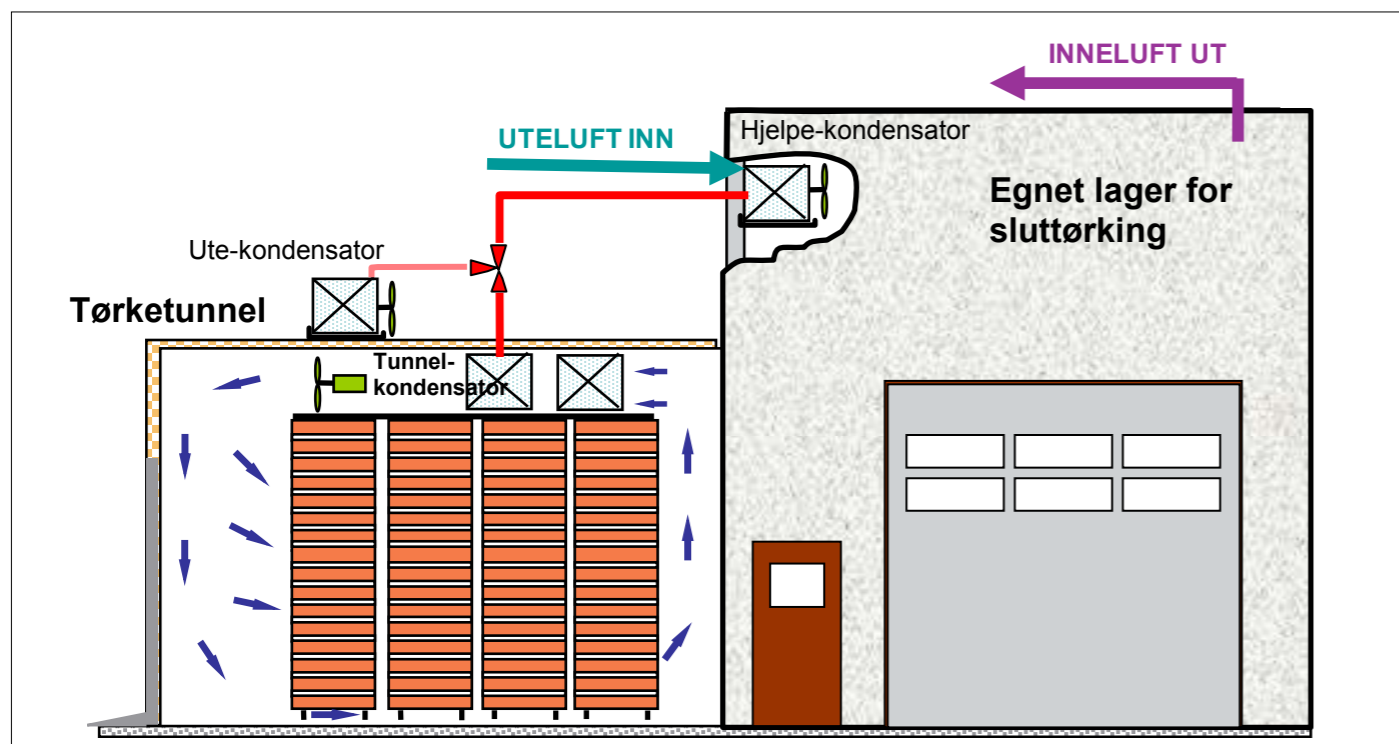
Oppvarmingsbehovet for uteluften i dette tilfellet blir:

$$\text{Oppv.} = (51,5 - 39,4) \cdot 1,2 = 14,3 \text{ kW}$$

Dette er bare en liten økning i forhold til ved 10 °C siden energibehovet pr kg luft øker bare litt mindre enn behovet for luftutvekslingen øker.

Selv om det forutsatt en tilnærmet hordetørke, kan dette gjøres enklere ved å ta inn uteluft som varmes opp over en kondensator inne i ettertørke rommet mens avluften går ut gjennom ventiler. Så lenge en bruker uteluft vil beregning av luftmengder og energibehov være det samme som for hordetørka. For alle typer anlegg som utnytter uteluft vil luftmengden variere ut fra fuktighet og temperatur og ønsket romklima. Det er mulig å utnytte hele overskuddet av energi fra kondensatoren til tørking ved å overføre fisk fra hovedtørkingen tidligere og derved få en totalløsning som vil gi øket kapasitet og lavt energiforbruk. Dette krever imidlertid en mer omfattende styring av overføringen av fisken mellom tunnelene avhengig av uteklima og fiskens tørketid.

Ved langblåste semi-kontinuerlige tørker kan en oppnå betydelige kapasitetsøkning ved de vanlig forekommende uteluft tilstander en har langs kysten ved å utnytte kondensatorytelsen fra varmepumpa i en ettertørke til oppvarming av uteluften. Beregninger vise en realistisk økning i tørkekapasiteten på i størrelsesorden 30–50 % med minimalt øket energiforbruk (til vifter). Dette krever rimelige investeringer i ettertørke, kondensator i ettertørken, vifter og utstyr for luftregulering.



Ettørtøking med overskuddvarme fra semi-kontinuerlig VP-tørke i et enkelt lager med styrt inntak av uteluft. (Figur Magnussen, SINTEF)

#### Tverrblåste tørker

Målinger på flere anlegg viser at allerede etter ca. 1 døgn er avvanningskapasiteten mye større enn tørkingen og uten god regulering av ytelsen resulterer dette i lav luftfuktighet og høyt energiforbruk pr. kg fisk. Å stoppe anlegget for å ta ut all fisk vil kreve ekstremt store ettørtørker og er trolig urealistisk. En mulighet for å få ned er å redusere luftstrømmen og nedregulere anleggets aggregater er. Dette vil kreve ombygging av styre- og reguleringsystemene og hvordan dette kan gjøres vil være noe avhengig av eksisterende anlegg. En må i alle tilfeller regne med en lavere energieffekt ved aktuelle metoder for ytelsesregulering.

Som målinger på denne type tunneler viser må en allerede etter ca. 2. døgn redusere ytelsen til omtrent 30 % for å tilpasse denne til avvanningen. I mer en 2/3 av driftstiden utnyttes investert ytelse tilsvarende, samtidig som en må nedregulere den store viftekapasitet ved anleggene, oftest med dårlig virkningsgrad som resultat. En ser heller ikke gode muligheter for å utnytte overskuddsvarmen siden den vil variere med ytelsen. Selv med flere slike tunneler i drift har all egne anlegg og utnyttelse er komplisert å knytte sammen.

En betydelig bedre løsning vil være å ta alle kompressorene ut av tunnelene og

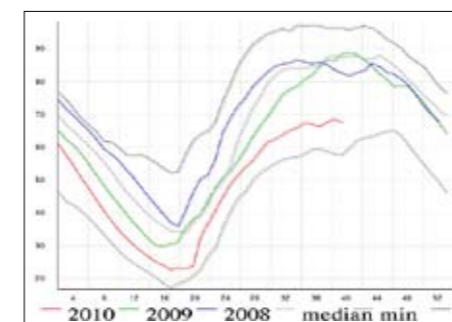
plassere disse i et felles maskinrom og koble de sammen. Videre må systemet ombygges til ett kompakt anlegg med "indirekte" system med lake som sirkulerer til kjøling og oppvarming i hver tunnel. Dette gjør også bruk av den da lett tilgjengelige overskuddsvarmen til ettørtøking. En omarrangering av tunnelene til semi-kontinuerlige anlegg med innsetting av fisk 1 - en - gang pr. døgn bør vurderes i tillegg til bruk av ettørtøkeanlegg også for denne type anlegg.

Beregninger viser at ved å sluttørke i eget lager vil en kunne senke energiforbruket fra 184 kWh til 101 kWh (45 %) per tonn produsert klippfisk og samtidig øke kapasiteten i anlegget.

#### Per Magne Walde

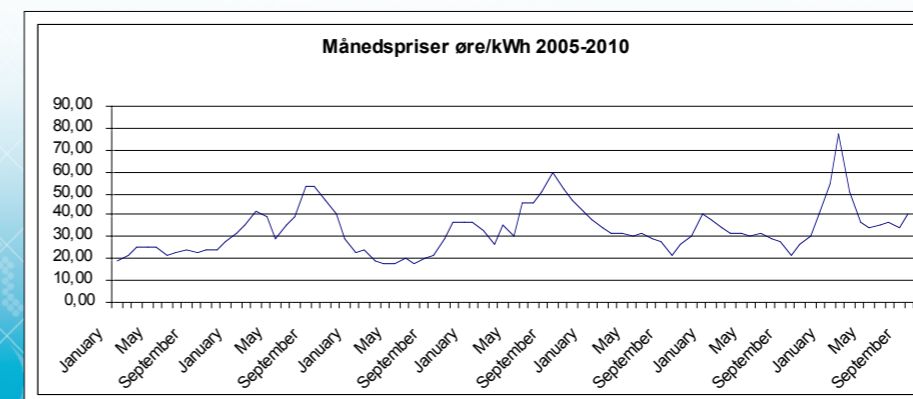
Møreforskning

Kraftsituasjonen er ikke god i vårt område, og det er derfor all grunn til å spare på strømmen. Energi har tradisjonelt vært en liten del av totalkostnaden for klippfisk, men et økende prisnivå kan øke denne andelen. Enhver kostnadsøkning er uheldig for en vare som i utgangspunktet er kostbar for store kundegrupper, og det er kanskje tid for å tenke gjennom energibruken på nytt.



Figur 1: Reservoarfylling i sone 3 (Kilde: NVE)

Figur 2: Månedsmiddel priser for Molde fra 2005 til og med september 2010. (Kilde: Elspot Market Data.)



#### Erlend Indergård

SINTEF Energi AS

- Tørkeprosessen kan deles inn i 3 perioder; **Startfasen** der overflatevannet fjernes, **Mellomfase**, og **Sluttfase**.
- Lufthastigheten har stor betydning første 12 timer. Å øke fra 1,5 til 3,0 m/s øker avvanning med 20 %. Etter 12 timer har hastigheten svært liten betydning.
- Økning i temperaturen fra 15° til 22°C øker avfuktningen med 15-20 % første døgn. Noe mindre betydning etter første døgn.
- Relativ fuktighet bør være så lav som mulig inn på tørken: Ved å senke relativ fuktighet i tørke-luften fra 60 til 30 % doubles avvanningen første døgn. Relativ fuktighet har betydning for tørkehastigheten under hele tørkeforløpet.
- Lufthastigheten må tilpasses slik at oppfuktning av luften ut fra tunnelen ligger opp mot 75 % relativ fuktighet. Frekvensregulering er nødvendig.

- Fiskens geometri og anatomi har betydning for hvor raskt vannet transporteres fra det indre av fisken.
- Sortering fisken før tørking vil medføre at fisken på vognene vil ha jevn tørking. Bedre skjæring gir økt tørkeflaten.
- Klippfisk bør tørkes i langblåst tunnel med god luftfordeling og utnyttelse av tunnelvernsnitt (god design av vogner):
  - Utnytte tunnelvernsnitt ved å utvikle nye og bedre brett, inkl system for fylling/tømming, gir økt kapasitet, redusert falskluft og bedre arbeidsforhold.
  - Øke avstand mellom brettene på vognene for å utnytte luften. For liten avstand gir lite luft og høyt trykkfall som igjen gir økt energiforbruk på viften og økt falskluft i kanaler utenom vognene.
- Klippfisken bør være i tunnelen i 24–36 timer, før den tas ut på eget sluttørkingslager.
- Overskuddsvarmen fra kondensatoren bør utnyttes i egen sluttørkingslager.
- Temperaturen i tørken bør ligge så høyt som mulig, men ikke over 26°C. Da brenning på overflaten inntreffer.
- God kontroll av prosessen etableres ved installasjon av instrumenter for registrering av temperatur og relativ fuktighet, samt måling av kondensert vann på sentrale steder (gir god kontroll av effektiviteten for anlegget).



Faggruppe klippfisk/saltfisk, Lorena Gallart Jornet, FoU koordinator FHF.

Tlf. 982 22 479, e-post: [lorena.jornet@fhf.no](mailto:lorena.jornet@fhf.no)

Design forside: Lorena Gallart Jornet, Forsidefotos: Klippfisk: Finn Arne Egeness - Sol og kraftlinje: Jan R. Olsen



FISKERI- OG HAVBRUKSNÆRINGENS FORSKNINGSFOND

**Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)**

Postboks 429 Sentrum

0103 Oslo

Tlf. 23 89 64 08

E-post: [post@fhf.no](mailto:post@fhf.no)

[www.fhf.no](http://www.fhf.no)

---