

www.sintef.no



**SINTEF****SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim  
 Resepsjon: Sem Sælands vei 11  
 Telefon: 73 59 72 00  
 Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:  
 NO 939 350 675 MVA

**TEKNISK RAPPORT**

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Sammenligning av langblåste og tverrblåste klippfisktørker**

SAKSBEARBEIDER(E)

Ola Jonassen, Per Magne Walde og Ola M. Magnussen

OPPDRAKSGIVER(E)

FHL Bacalaoforum

TR NR. * TRF6482 *	DATO 2007-04-24	OPPDRAKSGIVER(E)S REF. Arnt Olav Aarseth	PROSJEKTNR. 16X543
EL. ARKIVKODE 070126144050	RAPPORTTYPE	PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.) Inge R. Gran	GRADERING Fortrolig
ISBN NR. ISBN 978-82-594-3199-8		FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.) Inge R. Gran <i>Inge R. Gran</i>	OPPLAG      SIDER 7              34
AVDELING Energiprosesser	BESØKSADRESSE Kolbjørn Heies vei 1D		LOKAL TELEFAKS 73593950

## RESULTAT (sammendrag)

Klippfiskbransjen bruker i dag utelukkende tunneltørker med varmepumper. Produksjonen er uavhengig av ytre klimatiskeforhold idet tørkeluften gjenbrukes og variasjonene i temperatur og vanninnhold styres av varmepumpa. Varmepumpene bidrar til reduserte energibehov ved at energien fra kondensert vann flyttes til oppvarming av tørkelufta, noe som krever lite energi. I denne rapporten er det gjennomført beregninger, basert på målinger ved anlegg, av energibehov for dagens to hovedtyper av anlegg. 1: For en godt konstruert og driftet langblåst, kontinuerlig tørke og 2: Tilsvarende for en tverrblåst periodisk oppfylt tørke.

Beregningene er basert på målinger av tørkehastighet, energiforbruk av varmepumper/aggregater, vifter, mv. og en rimelig optimal bruk. Ved tørking av fisken fra 57 % til 45 % vanninnhold er det beregnet:

**Spesifikt energiforbruk i god langblåst tørke: 0.164 kWh/kg klippfisk**

**Spesifikt energiforbruk i god tverrblåst tørke: 0.265 kWh/kg klippfisk**

Gjennomførte målinger på 4 klippfisktørker viser varierende, men generelt betydelig høyere energiforbruk. Ved de langblåste tunnelene ble det anslått energiforbruk henholdsvis på ca. 0,190 og 0,159 kWh/kg klippfisk. Ved de tverrblåste og satsvist oppfylte tunnelene var forbruket henholdsvis 0,396 og 0,540 kWh/kg klippfisk. Med tanke på utvikling av energipriser anbefales det at bransjen satser sterkere på energieffektive anlegg i framtiden. Det bør videre satses mer på å utvikle kunnskap om tørketider, produkttransport og styringen av produktstrøm og anlegg i tørkene. I tillegg til forskjellen i energiforbruk for de to typene tørker må følgende forhold vurderes:

- Fleksibel drift
- Kontroll av tørrhetsgrad
- Redusert bemanning
- Tørketid for produktgrupper
- Totalkostnad for tørkingen

De langblåste tørkene er noe mer omstendelige å holde i drift på grunn av kravet til kontinuitet.

Spesielt jevnhet i tørkingen, eller mer kontroll av vanninnhold i salgsklar vare er viktig. Bruk av nøye kontrollert klimalager kan være en lønnsom løsning.

\* Rapporten er åpnet 2008-02-06\*

**STIKKORD**

EGENVALGTE	Klippfisktørking	Tunnelform
	Energiforbruk	Driftsform

## INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1	INTRODUKSJON..... 3
2	FUKTIG LUFT ..... 5
2.1	FUKTIG LUFT DIAGRAM ..... 6
3	TØRKING I TUNNELER..... 9
3.1	TØRKING MED FORVARMET LUFT ("HØRDETØRKER")..... 9
3.2	TØRKING MED KONTROLLERT TØRKELUFT VED VARMEPUMPE..... 10
3.3	ENERGIEFFEKTIVITET OG DRIFT AV TØRKEANLEGGET ..... 12
3.4	ENERGIBRUK MED VARMEPUMPESYSTEM ..... 13
4	ENERGIBEHOV VED KLIPPFIKTØRKING..... 15
5	ENERGIBEHOV I EN GOD LANGBLÅST TØRKE ..... 17
6	ENERGIBEHOV I EN GOD TVERRBLÅST TØRKE ..... 19
6.1	MÅLTE VANNMENGDER ..... 19
6.2	TILSTANDER FOR TØRKELUFTEN ..... 21
6.3	SIRKULERTE LUFTMENGDER ..... 23
6.4	ENERGIFORBRUK VIFTER..... 23
6.4.1	Tunnelvifter ..... 23
6.4.2	Vifte for luftbehandlingsaggregat..... 24
6.5	ESTIMAT FOR EFFEKTBEHOV TIL VARMEPUMPE..... 24
6.6	SPESIFIKT ENERGI FORBRUK FOR TVERRBLÅST TØRKE ..... 25
7	SAMMENLIGNING LANGBLÅST – TVERRBLÅST TØRKE ..... 28
7.1	ENERGIFORBRUK..... 28
7.2	ANDRE FORHOLD ..... 30
8	KONKLUSJONER ..... 32

## 1 INTRODUKSJON

FHL Bacalaoforum har tatt initiativ til og gjennomfører prosjektet ”Fremtidens klippfiskbedrift”. SINTEF Energiforskning AS, avdeling Energiprosesser er utførende institutt. Prosjektet startet i 2005 og er planlagt for en periode på 3 år.

Det er grunn til å tro at store deler av norsk klippfiskproduksjon ikke drives kostnadsoptimalt i dag. Bemanningskostnad, energikostnad og råstoffkostnad (pga. ujevnt utbytte og ujevn tørrhetsgrad) er områder hvor man ventet å finne eksempler på uøkonomisk drift. Økt kunnskap om fysiske forhold som påvirker tørkehastighet, jevnere tørrhet i ferdigvarene, lavere kostnader for energi og redusert arbeidsbehov vil være avgjørende for lønnsomheten i næringa.

Det har skjedd en omfattende utvikling siden starten av en omstridt innendørs tørking starta på 1920 -30 tallet. Veksten i arbeidskostnader og mangel på tørkere etter verdenskrigen tvang imidlertid fram rasjonell tunneltørking. Tunnelene var små enkle rom hvor uteluft ble forvarmet over en oljefyrt ovn og med vanlig kapasitet/plass for 4 tonn. Kunnskapen om tørking var ofte mangelfull og en mente ofte at tørrbrenning av lufta var årsak til effektiv tørking. Etter hvert kom seriøse aktører med tørketekniske kunnskaper inn i bildet og energieffektivitet ved forbedret tunnelarrangement, resirkulering og styring av temperatur og fuktighet ble tatt i bruk. Et hovedproblem var imidlertid fortsatt at en var avhengig av værforholdene, høy temperatur og fuktighet gjorde at en på kysten hadde lange perioder med lav eller ingen tørking.

Arbeidene med å introdusere varmepumper for å styre temperatur og fuktighet i tørkeindustrien ble starta ved NTH (nå NTNU) og SINTEF på 1970-tallet med mål om å redusere energibehovet og få jevnere og kontinuerlig tørking uavhengig av klima. Arbeidene ble starta som student (Diplom) oppgaver og senere finansiert av Fiskeriforskningsinstituttet. Omfattende undersøkelser ble gjennomført ved tørkeanlegg (Tabell 1) [ 1] og sammen med Dr. gradsarbeidet [2] i prosjektet bidro dette sterkt til bygging av ca. 50 slike tørker i løpet av få år.

Tabell 1: Målinger på tre klippfisktørker (Sandvær O. J.1978)

TØRKETYPE		Konv. hordetørke	Klimareg. hordetørke	V.P. tørke
OPPVARMING		Direkte oljebrenner	Varmtvann fra bereder	Varme- pumpe
UTELUFTTILSTAND	t [°C]	7.2	9.1	
	φ % RH	65	74	
TØRKE - FORHOLD	Innløp: t [°C]	19.8	21.5	21.1
	φ % RH	35	43	46
	Utløp: t [°C]	17.6	18.5	16.8
	φ [% RH]			73
TEORETISK	kJ/kg vann	8600	6250	6060
EFFEKTFORBRUK	kWh/tonn klippfisk	421	306	278
DØGNPRODUKSJON <sup>*</sup>	[tonn]	4	10	17
ENERGIFORBRUK PR.PROD.ENHET	[kWh/tonn]	El.	44	125 <sup>**</sup>
		Olje	800	0
	Totalt	875	479	125 <sup>**</sup>

<sup>\*</sup> 7/8 tørr klippfisk

<sup>\*\*</sup> Inkl. energiforbr. til vifter og totalt effektforbruk for kompressorer.  
Overskuddsvarmen går via hjelpekondestator til romoppvarming.

Ved overgang til varmpumpetørker ble det i den første perioden, fra ca 1980 installert effektive langblåste tunneler. For riktig utførte langblåste tørker, godt salta (ca, 52% vann) ble spesifikt energiforbruk målt ned til 0.125 kWh/kg klippfisk. I de senere år har det blitt en preferanse i næringen for å installere tverrblåste batchtørker. Det er kjent at disse bruker mer energi, men det har nå vært mer fokus på enkel drift. Med de raskt stigende prisene i dagens energimarked, er det absolutt nødvendig å vurdere forskjellen i energikostnad før valget faller på tverrblåst kontra langblåst tørke. Samtidig vil den enkle driftsform gi stor variasjon i tørrhet ut av tørkene, behov for betydelig grad av ny tørking av "slakk" fisk, samtidig med overtørking som gir stort økonomisk tap.

I dette FoU- prosjektet for FHL er det gjort målinger på tre tunneler sommeren 2005 og resultater fra dette arbeidet er samlet i rapportene TRF6320 *Energianlegg og luftfordeling i 3 klippfisktørker*[5] og TRF6383 *Undersøkelse av tørking av klippfisk i tre anlegg*. [6] Resultater fra målinger på i alt 4 anlegg er benyttet som grunnlag for beregning av behovet for energi i denne rapporten og hoveddata for disse er:

- 1) *Langblåst 1*; en kontinuerlig, langblåst tørke med 5x16 vogner og automatisk framtrekk av reoler. Den er levert av Optimar 1999 og står hos Nils Sperre AS på Ellingsøy.
- 2) *Langblåst 2*; en kontinuerlig, langblåst tørke med 7x22 vogner og manuell inn- og utlasting. Den er levert av Alfson & Gunderson 1980 og står hos Jangaard Export AS på Kleivane i Ålesund
- 3) *Tverrblåst 1*. Manuelt operert tverrblåst batch-tørke med 3x8 vogner levert av Frigosistema ca 1982. Den står hos Jangaard Export AS på Kleivane i Ålesund.
- 4) *Tverrblåst 2*. Manuelt operert tverrblåst batch-tørke med 4x10 vogner levert av Frigosistema 2006. Den står hos Scanprod as på Valderøy. [7]

## 2 FUKTIG LUFT

Ved arbeide med tørking er det viktig å ha kunnskap om hvordan egenskapene til luft varierer med fuktighetsinnhold, temperatur og trykk. I de aller fleste tilfeller innen tørking anvendes luft som medium for både tilførsel av varme til materialet som tørkes og til transport av vann som damper av fra det materialet. Andre gasser som nitrogen, karbondioksid og overhettete damp kan også benyttes.

Fuktig luft er en blanding av tørr luft og overhettete vanndamp. Både luften og vanndampen kan ved aktuelle betingelser regnes som ideelle gasser. Daltons lov for ideelle gassblandinger sier at hver gass kan behandles som om den eksisterte alene ved sitt deltrykk og ved blandingens temperatur og volum. Hvis vanndampens deltrykk og blandingens temperatur er kjent, kan de termodynamiske egenskapene til vanndampen i blandingen finnes fra tabeller, diagrammer eller formler. Ved at en betrakter fuktig luft som en ideell gass, vil trykket ikke ha noen betydning for størrelser som entalpi og spesifikk varmekapasitet.

Egenskapene for fuktig luft er vanlig å oppgi pr. kg tørr luft. Dette er å foretrekke på grunn av at mengden fuktig luft gjennom en tørkeprosess forandrer seg som funksjon av hvor mye vann luften inneholder, mens mengden tørr luft typisk er konstant. Viktige parametere ved tørking i fuktig luft er:

*Absolutt fuktighet* ( $X$ ) er definert som forholdet mellom antall kg vanndamp ( $= M_v$ ) og antall kg tørr luft ( $= M_l$ ).

$$X = \frac{M_v}{M_l} \left[ \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg tørrluft}} \right] \quad [1]$$

Den absolutte fuktigheten kan uttrykkes ved hjelp av deltrykket til vanndampen og blandingens totaltrykk. Ved bruk av den ideelle gassloven og innsetting av verdiene for molekylvekt for vanndamp og luft kan en få følgende uttrykk for sammenhengen mellom absolutt fuktighet, totaltrykk og vanndamptrykket:

$$X = 0.622 \frac{P_v}{P_{TOT} - P_v} \quad [2]$$

*Mettet absolutt fuktighet* er definert som det maksimale fuktighetsinnholdet som fuktig luft kan inneholde ved en spesifikk temperatur og et spesifikt totaltrykk, og kan skrives slik:

$$X_{sat} = 0.622 \frac{P_{v,sat}}{P_{TOT} - P_{v,sat}} \quad [3]$$

hvor  $v_{sat}$  er metningstrykket til vann ved temperaturen til den fuktige luften.

Forholdet mellom absolutt fuktighet og mettet absolutt fuktighet ( $X/X_{sat}$ ), kalles for *metningsgraden*, og denne størrelsen gir informasjon om hvor fuktet luften er i forhold til det maksimale vanninnholdet i luften ved en spesifisert tilstand. En annen og mer vanlig måte å angi graden av fuktighet på er såkalt *relativ fuktighet* ( $\phi$ ). Denne størrelsen er definert som forholdet

mellom det aktuelle partialtrykket til vanndampen i luften og metningstrykket til vanndamp ved den fuktige luftens temperatur. Dette kan uttrykkes slik:

$$\phi = \frac{P_v}{P_{v,sat}} \quad [4]$$

Sammenhengen mellom absolutt og relativ fuktighet er:

$$X = 0.622 \frac{\phi \cdot P_{v,sat}}{P_{TOT} - \phi \cdot P_{v,sat}} \quad [5]$$

*Duggpunktet* ("dew point") for fuktig luft er definert som den temperaturen hvor fuktige luft ved et gitt trykk og fuktighetsinnhold er mettet på vanndamp. Hvis temperaturen senkes under duggpunktet så vil noe av vanndampen kondensere fra den fuktige luften. Duggpunktstemperaturen fås ved å finne partialtrykket til vanndampen i den fuktige luften, og deretter å finne metningstemperaturen for vanndamp ved dette trykket.

*Spesifikk varmekapasitet* ( $c_p$ ) er den varmemengden som skal til for å øke temperaturen til 1 kg tørr luft pluss vanndampen som er tilstede med 1 K eller 1 °C. Spesifikk varmekapasitet er definert som:

$$c_p \equiv \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad [6]$$

Imidlertid benyttes ofte spesifikk varmekapasitet i strid med denne definisjonen ved at for eksempel varmen som tilføres en strøm regnes ut som spesifikk varmekapasitet multiplisert med en endelig temperaturdifferanse. I dette tilfellet benyttes derfor følgende definisjon av spesifikk varmekapasitet:

$$c_p \equiv \frac{h_1 - h_0}{t_1 - t_0} \quad [7]$$

Definisjonene gitt i Ligning 6 kan man kalle en *lokal* spesifikk varmekapasitet, mens definisjonen i Ligning 7 kan kalles en *global* spesifikk varmekapasitet.

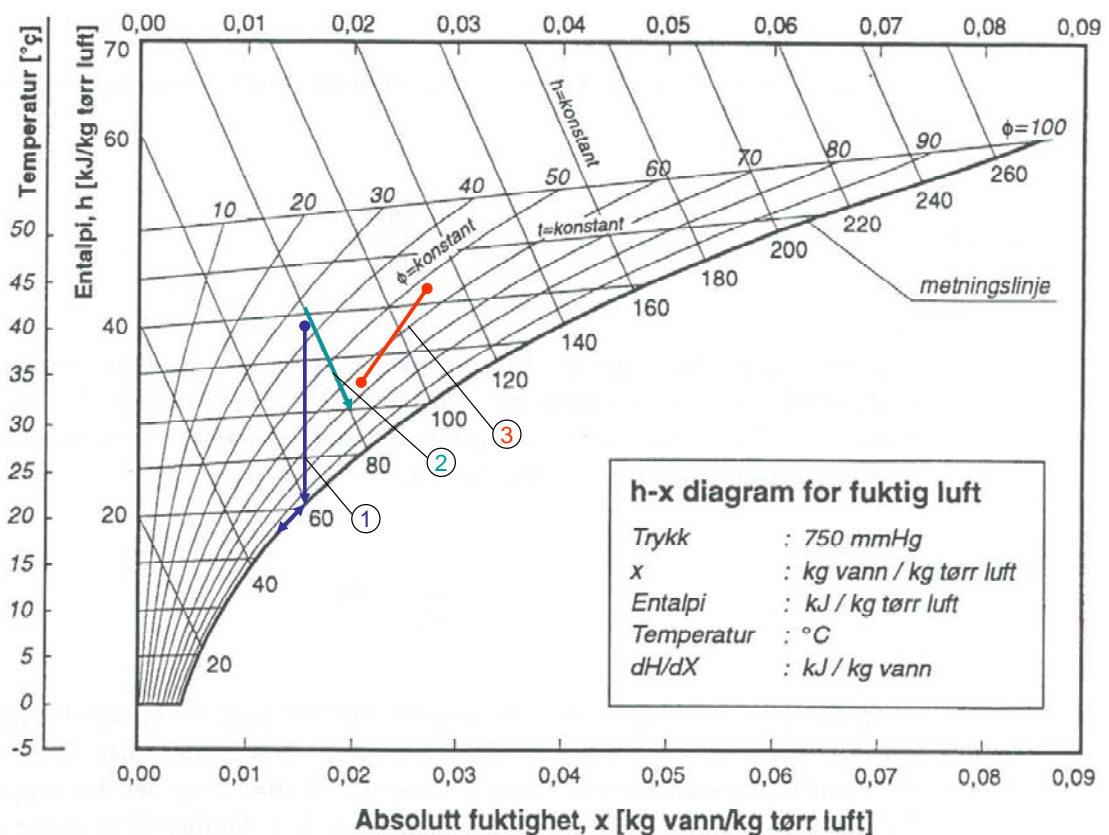
## 2.1 FUKTIG LUFT DIAGRAM

Det mest vanlige diagrammet for fuktig luft er det såkalte *Mollier*-diagrammet (se Figur 1). Fordi verdien av fordampningsvarmen er stor i forhold til varmekapasiteten, gjorde den tyske professor Mollier et kunstgrep med diagrammet slik at linjene for konstant entalpi løper på skrå. Det området som interesserer blir dermed større.

Langs den venstre randskalaen i figur 1 er temperatur (° Celcius) fremstilt. Linjene for konstant temperatur går på skrå oppover til høyre til de treffer en buet linje som starter ned til venstre i diagrammet. Denne buede linjen er metningslinjen hvor luftens relative fuktighet er lik 100 %. Fra venstre og på skrå ned mot høyre går linjer for konstant entalpi. Langs den horisontale aksene har en absolutt fuktighet  $X$ . Figur 1 viser diagrammets form og linjer for konstant temperatur, entalpi

og relativ fuktighet. I Figur 1 er også inntegnet noen tilstandsendringer for fuktig luft som er viktig for tørking.

1. Ved kjøling av umettet luft vil temperaturen senkes ved konstant fuktinnhold. Prosessen vil i diagrammet følge  $x = \text{konstant}$  linja til metningslinja. Dette skjæringspunkt benevnes ”duggpunktet” siden videre kjøling vil kondensere vanndamp. Videre kjøling vil gi utfelling og ved likevekt vil prosessen følge  $\phi = 100\%$ . Ved ”tørr” (uten vanntilsetning) oppvarming vil tilstanden tilsvarende følge en vertikal linje ( $x = \text{konstant}$  linja).
2. Når en stor luftmengde stryker over et fuktig produkt med høyre vanndamptrykk vil, så lenge varmen til fordampingen tas fra luften, tilstanden for luften bevege seg langs  $h = \text{konstant}$ . (vanlig antagelse ved tørking). En liten vannholdig masse utsatt for stor luftstrøm vil derfor anta en temperatur som er kurvens kryssing av linja  $\phi = 100\%$ . (kalles vanligvis ”våtkuletemperaturen” eller ”kjølegrensen”). Dersom vannet eller det fuktige stoffet på forhånd er varmere enn luften, vil det kjøles av til det når kjølegrensen.
3. Ved blanding av to fuktig luft mengder vil slutttilstanden ligge på den rette linjen mellom de to utgangstilstandene. Punktet vil ligge i tyngdepunktet når en tenker seg de to luftmengdene plassert i utgangstilstandene.



Figur 1. Mollierdiagram for fuktig luft i aktuelt tørkeområde for klippfisk. 1: Kjøling av umettet luft. 2: ”Tørkelinje” mot våtkuletemperaturen. 3: Blandingslinje for to umetta luftmasser



For å finne tilstanden av fuktig luft kan en måle tørr- og våtkuletemperaturen. Luftens tilstand finnes ved å trekke en linje gjennom en temperaturlinje (våtkuletemperaturen) med retning som anvist av *våtkuleisotermene*. Skjæringspunktet med temperaturlinjen for tørrkuletemperaturen gir luftens tilstand

### 3 TØRKING I TUNNELER

Den tradisjonelle klippfisktørring var svært arbeidskrevende av mange årsaker. For å få god tørring måtte hver enkelt fisk legges ut på rent berg eller fjærestein. Værforholdene måtte være riktig med tørr luft for å få tørring og lite sol for å unngå ”brenning” ved høy produkttemperatur. Hver kveld, og ofte på dagtid ved ugunstige tørkeforhold, måtte fisken legges sammen på treplatter og med ”hatter” (taklokk) over. Tidlig på 1900-tallet ble spesielt ettertørring innendørs tatt i bruk og etter hvert ble tørketunneler tatt i bruk. Tørring på berg og stein var imidlertid i bruk i større skala til tidlig på 1950-tallet.

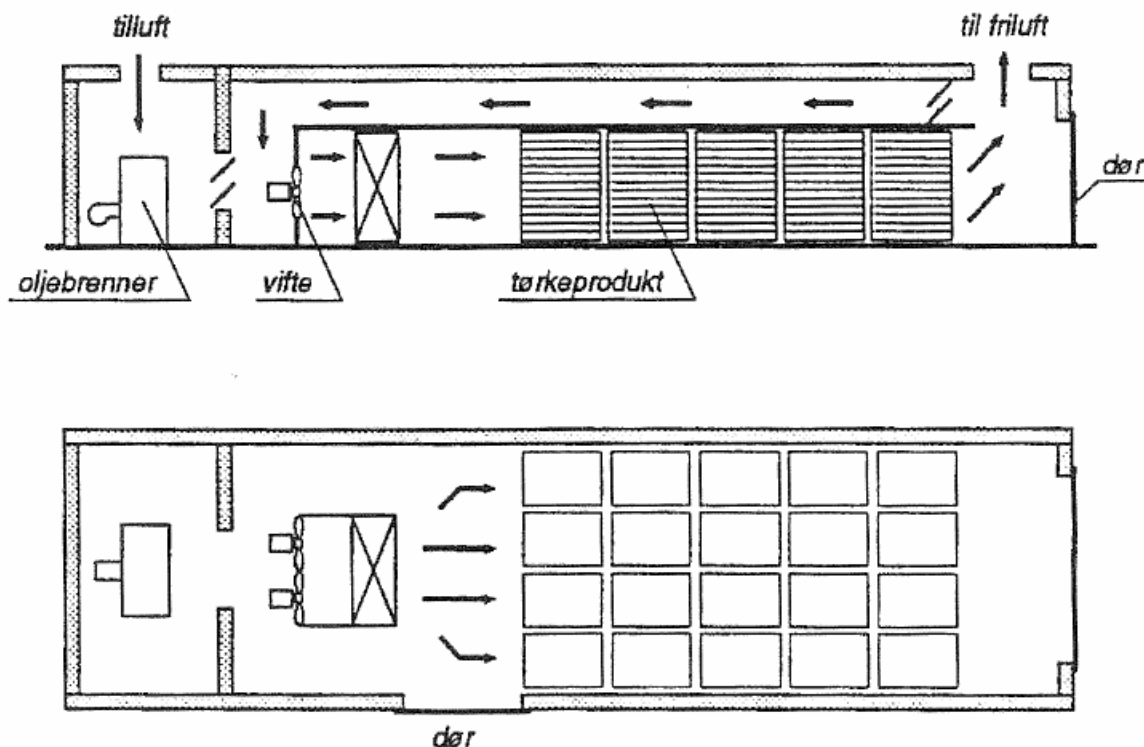
#### 3.1 TØRKING MED FORVARMET LUFT (”HORDETØRKER”).

Prinsippene og arrangementer for hordetørker er vist i for en relativt moderne utgave i figur 2. Fisken ble lagt på hyller eller brett i vognene og satt inn i tunnelene. Egnede lufttilstand (temperatur og fuktighet) skaffes ved å blande friskluft og returluft, som deretter oppvarmes til ønsket temperatur. Kritisk for å få rask tørring er uteluft tilstanden som må ha et vanddamptrykk lavere enn fiskens damptrykk ved tørketemperaturen. Oppvarmingen skjer ved hjelp av olje eller elektrisk strøm. Slike tørker finnes i flere generasjoner fra de helt enkle, hvor all regulering skjer manuelt, til de mer avanserte hvor returluftmengde og varmetilførsel reguleres automatisk etter ønsket lufttilstand.

Ved de enkleste tørkene blir all fisk stuert inn i tunnelen og anlegget startet. Fisken har da fuktig overflate og en får rask tørring og oppfuktning av luften når den strømmer innover i tunnelen. *Siden vannet i fisken er saltmettet reduseres vanddamptrykket (vanddampaktiviteten) over fiskevæska tilsvarende ca. 76 % av rent vann. Kurva for 76 % kan derfor anses som saltfiskens metningstrykk) og ved tilstrekkelig stor flate/lang tunnel vil tørkelufta ta opp fuktighet til den når relativ fuktighet nær 76 %.*

Etter at overflatevannet er fjernet vil tørkehastigheten avta på grunn av vanntransportmotstand i varen og varmestrøm innover. Derved avtar vannopptaket i lufta og ved samme tørkeflate vil luftfuktigheten ved utløp avta og dermed også utnyttelsen av tilført varme. For å unngå dette resirkuleres ofte luft tilbake til innløpet, men dette vil igjen redusere tørkepotensialet og øke tørketiden. Etter hvert har en funnet fram til en mer kontinuerlig prosess med vogner med fuktige produkt som settes inn ved luftutløp og så beveges periodisk gjennom tunnelen i motsatt retning av tørkelufta. Fordelen med dette er at den stadig mer fuktige luft møter mer lett tørkelige varer og en opprettholder vanddamptrykk differansen og oppfuktningen mer jevnt over perioden.

Et erfaringstall fra bransjen for energiforbruk, er 50.000 liter fyringsolje for en årsproduksjon på 2000 tonn klippfisk. Dette kan omregnes til 0.025 liter olje/kg klippfisk eller 0.251 kWh/kg klippfisk. Det er regnet med vanninnhold i saltfisk og klippfisk på henholdsvis 57 og 47 % som er vanlig ved dagens klippfiskproduksjon. Dette synes lavt sammenlignet med målinger (Tabell1.), men kan trolig nås ved gunstige klimaforhold.



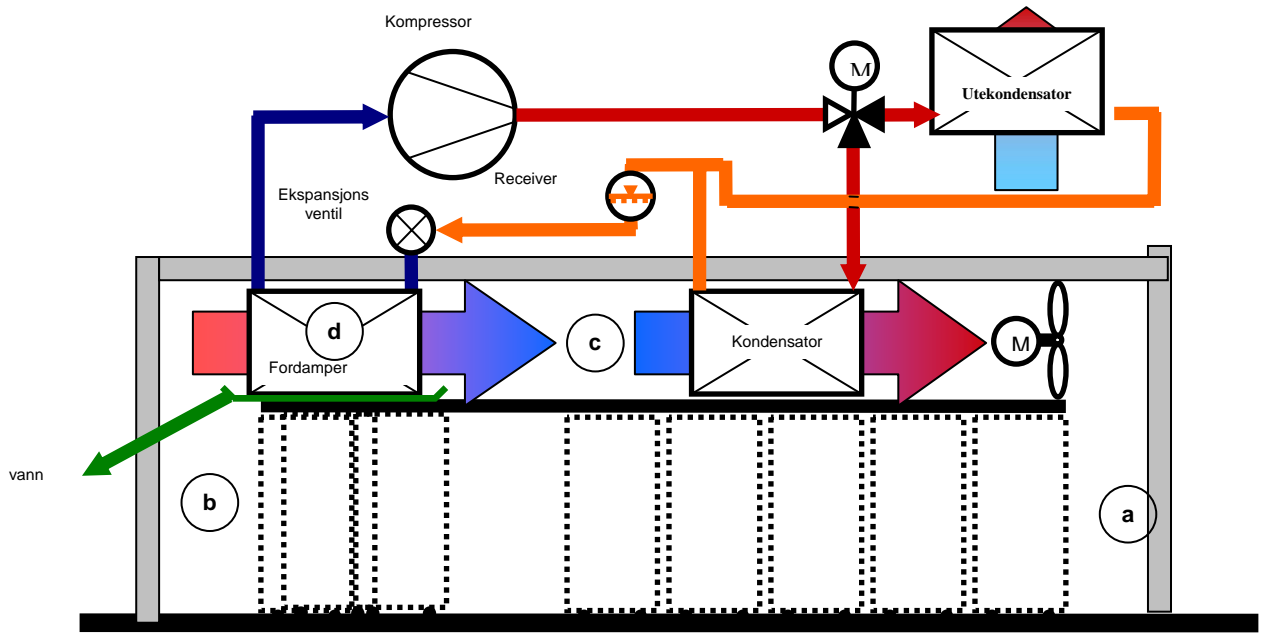
Figur 2. Prinsipiell skisse av "hordetørke" og resirkulering av tørkelufta.

### 3.2 TØRKING MED KONTROLLERT TØRKELUFT VED VARMEPUMPE

Varmepumpetørkene (figur 3) baserer seg i hovedsak på det samme tunnelsystemet som "hordetørken", men med full resirkulering av all tørkeluft. I stedet for å slippe ut energien i den fuktige lufta overføres energien til varmpumpa ved at lufta kjøles, tilført vanndamp kondenseres og fjernes som vann fra fordampere. (Tilsvaret at varm fuktig utluft i naturen stiger til høyere og kaldere luftlag, vann kondenseres og kommer ned som regn) Den kalde luft med lite fuktighet varmes derpå opp igjen uten fukttilførsel og relativ fuktighet avtar (se figur 1 og endringer lufttilstandene i Mollierdiagrammet). Forutsatt små varmetap vil vifte- og kompressorenergien gi systemet noe energioverskudd som fjernes ved en hjelpekondensator.

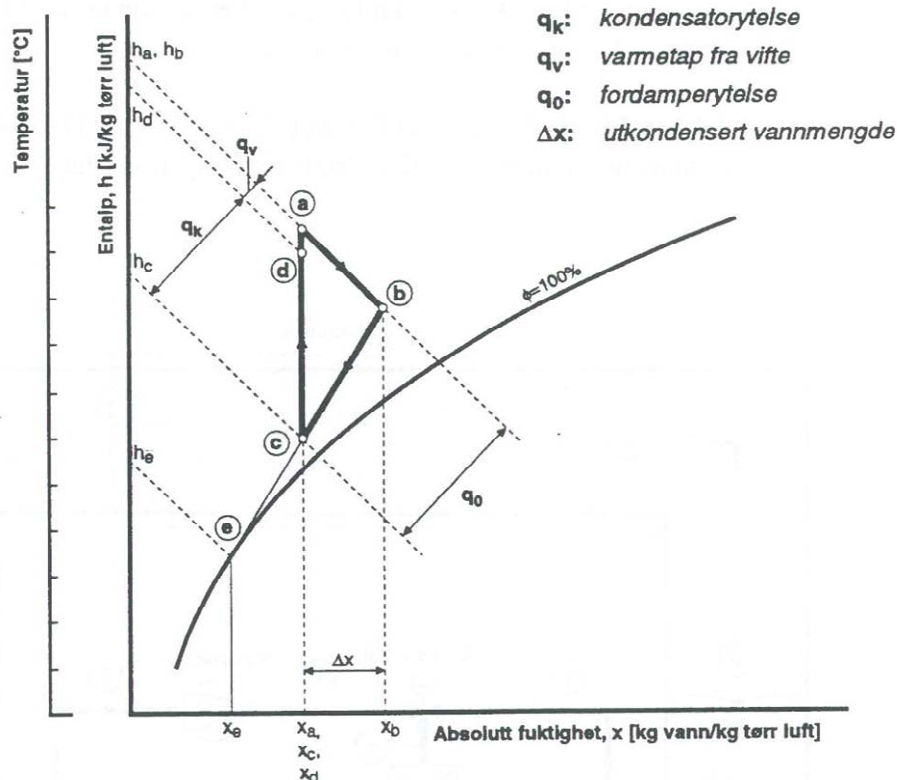
Mollierdiagrammet er godt egnet til fremstilling av prosessen og beregninger og er vist i figur 4. Luft som gjennom fordampere blir kjølt til a blandes med utløpsluft til punkt c og fjernet vann ( $\Delta X$ ) og fjernet energi;  $q_0 = h_a - h_c$  kan finnes i diagrammet.

Varmepumpen avfukter tørkelufta etter at den har tatt opp vann fra produktet, og temperaturen justeres til ønsket nivå. Den varme, fuktige lufta føres først forbi varmpumpens fordampere hvor



Figur 3. Klippfisktørke med varmepumpe for kontroll av temperatur og fuktighet

den avkjøles. Ettersom luftens evne til å holde på fuktighet avtar med temperaturen, felles det ut vann på fordamperoverflaten. Med andre ord avtar luftens absolute luftfuktighet (absolutt fuktighet  $x = \text{kg vann pr. kg tørr luft}$ ). Den tørre, avkjølte luften blåses til slutt over kondensatoren, og varmes opp til ønsket temperatur før den blåses på ny inn i tørkekammeret.



Figur 4. Tørkeprosessen ved bruk av varmepumpe vist i Mollierdiagram

### 3.3 ENERGIEFFEKTIVITET OG DRIFT AV TØRKEANLEGGET.

En viktig størrelse ved all luftbehandling er forholdet mellom endring av energiinnhold ( $dh$ ) og endring av fuktighet ( $dx$ ). For tørkeprosessen vist i Figur 10 ser vi at følgende kan utledes:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{h_b - h_c}{x_b - x_c} = \frac{q_0}{\Delta x} \left[ \frac{kJ}{kgvann} \right] \quad [8]$$

Ved fremstilling av tørkeprosessen i Mollierdiagrammet vil *vinkelen mellom avfuktingslinje b – c med x – aksen angi energieffektiviteten* i avvanningen. Ved å tegne inn tørkeprosesser ved forskjellig tørketemperatur i det samme h-x-diagrammet (eksempelvis i Figur 1), vil en se at  $dh/dx$ -forholdet øker med avtagende tørketemperatur. Det betyr at det må brukes mer energi for å tørke ved lave temperaturer enn ved høye temperaturer. Når tørketemperaturen nærmer seg 0 °C og lavere, stiger dette forholdet spesielt hurtig.

*Dersom luftens relative fuktighet ut av tørkekammeret avtar, øker  $dh/dx$  forholdet (Figur 4).* Det er altså om å gjøre å oppnå best mulig oppfukting av tørkeluften tørkekammeret (høyest mulig luftfuktighet ut av tørkekammeret). I de tilfellene hvor det trengs særlig lav luftfuktighet ved tørkekammerets utløp vil energiforbruket pr. kg fjernet vann øke om en kun tenker på forholdet  $dh/dx$ . Konklusjonen blir her at også luftfuktigheten ved tørkekammerets utløp bør være så høy som mulig. Denne siste konklusjonen må imidlertid balanseres med det faktum at sirkulert luftmengde  $G_{\text{luft}}$  i anlegget er direkte avhengig av  $\Delta x$ . En liten  $\Delta x$  fører til stor sirkulert luftmengde og høyt energiforbruk til vifter. ***Det er derfor viktig at tunnelens form/lengde, lufthastighet, produkt og varmepumpe optimaliseres.***

Som vanlig ved tørking av fisk, kjøtt, grønnsaker, mv. vil en i begynnelsen av tørkeperioden ha en fuktig overflate og en høy relativ konstant tørkehastighet. Vanndamptrykket på overflaten vil da tilsvare væskens damptrykk (vanndampaktiviteten), ved klippfisk er dette en mettet saltløsning og tilsvarende  $\phi = 76 \%$ . Ved tilstrekkelig stor tørkeflate vil derfor ved klippfisk tørking maksimal fuktighet ut av tunnel være 76 % (punkt b i Figur 4). Etter av overflatefuktigheten er fjernet vil vanndampen måtte strømme fra et økende lag av tørket materiale og gi en motstand som reduserer tørkingen (fallende tørkehastighet). En tørketunnel som fylles med fisk (batch-prosess) vil forutsatt riktig dimensjonering, oppnå nær maksimal oppfukting og høy energieffektivitet (liten  $dh/dx$ ) i starten. Etter som tørkingen avtar raskt (fallende tørkehastighet) vil oppfuktingen avta (punkt b flyttes nærmere punkt a i Figur 4),  $dh/dx$  avtar og energibruken øker. En mulighet er da å redusere luftmengden, men dette vil igjen påvirke tørkehastighet og tunnelens produktivitet. Ved vanlig driftsmåte for batch tunneler vil den største del av tørketiden foregå med lav relativ fuktighet ut fra produktene og høy  $dh/dx$  og energiforbruk. Samtidig vil vifteenergien bli en stadig større del av energibehovet for luftoppvarmingen og energisparingen ved bruk av varmepumpa avtar.

Tilsvarende som ved hordetørkene vil en *tilnærmet kontinuerlig drift med "motstrøms" periodisk innføring av varene ved luftutløp og uttak av ferdig tørket fisk ved luftinnløp, gi betydelig økning av tunnelens energieffektivitet og produktivitet.* Denne driftsmåte har flere fordeler som: 1: Fisken etter som den tørker og tørkehastigheten avtar, stadig møter tørrere luft og økende drivkraft for

tørkingen. 2: Tørkeluften møter stadig våtere fisk som lettere avgir vann og bidrar til å opprettholde avvanningen. Slutt-tørkingen hvor fisken krever lavest fuktighet og har lav tørkehastighet oppnås samtidig som den høye fuktighet i nyinnlagt fisk sikrer høy utløpsfuktighet i tørkeluften og derved høy energieffektivitet. Forutsetningen for at en skal kunne oppnå dette er at en har riktig luftmengde, lufthastighet over produktene, jevn luftfordeling over tunneltverrsnittet og tunnel lengde. Ulempen er at stor fisk og langsom tørking vil kreve en lang tunnel som kan gi problem ved endring av produkt, -størrelse, treghet ved endring i belastning, mv. For beregningen av tunnelstørrelse, luftmengder, ytelse av energianlegg, mv. kreves data for tørkehastighet, overflate og vekt av fisken, varme- og vanntransport i varen, mv. Vanligvis overslagsberegnes dette for hovedproduktene og tilpasses etter driftserfaringer med anlegg og produktvarianter.

Et hovedproblem ved bygging og drift av tunneltørker synes etter bedriftsbesøkene å være å unngå ”falskluft” eller luft som passerer utenom fisken og ikke opptar fuktighet. Dette gjelder i første rekke luft som passerer mellom varene og vegger, tak, gulv og mellom reoler. Luft som passerer uten vannopptak vil ikke endre tilstand (punkt a i figur 4) og blandes med oppfuktet luft (punkt b) etter tørkesona og gi en blandingsstilstand som flytter tilstanden tilbake mot utgangstilstanden. I tillegg til øket  $dh/dx$  vil vifteeffekten for sirkulasjon av falskluft være tap. På tilsvarende måte vil ujevn luftfordeling over tunneltverrsnittet resultere i lavere oppfukting av både i soner med for høy og for lav lufthastighet og derved bidra til ujevn tørking.

### 3.4 ENERGIBRUK MED VARMEPUMPESYSTEM

I en tørkeprosess er kjølingen for fjerning av vann og kuldeytelsen bestemmende for størrelsen av anlegget. For energibehovet er derfor kuldefaktoren  $\varepsilon$  (Eng: COP; Coefficient of Performance) sentral og er gitt av:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{P_{el}} \quad [9]$$

Her er:

$Q_0$  [kW] er fordamperytelsen;

$P_{el}$  [kW] er tilført effekt til kompressormotorene.

Kuldefaktoren eller effektfaktoren (må ikke forveksles med varmfaktoren for en varmepumpe, den er 1.0 høyere) angir hvor stor kuldeytelse  $Q_0$  som leveres for hver enhet energi kompressoren bruker ved de gitte driftsforhold, og er et mål for hvor effektivt anlegget er. Typisk effektfaktor for en varmepumpetørke er  $\varepsilon = 3-4$ .

For overslagsberegning av effektfaktor i denne typen anlegg kan en ut fra systemets fordampings- og kondenseringstemperatur beregne Carnot virkningsgraden (teoretisk ideell prosess). Denne er gitt av ligningen nedenfor, hvor  $\varepsilon_c$  er Carnot-effektfaktoren for en kuldemaskin,  $T_0$  er fordampningstemperaturen i grader Kelvin.

$$\varepsilon_c = \frac{(t_0 + 273)}{(t_k - t_0)} = \frac{T_0}{\Delta T} \quad [10]$$

Forholdet mellom effektfaktoren for et virkelig anlegg ( $\varepsilon$ ) og Carnot-effektfaktoren ( $\varepsilon_c$ ) betegnes Carnot-virkningsgraden ( $\eta_c$ ).

$$\eta_c = \varepsilon / \varepsilon_c \quad \text{eller} \quad \varepsilon = \varepsilon_c \cdot \eta_c \quad [11]$$

For anlegg av denne type vil den ofte være i størrelse  $\eta_c = 0,4 - 0,45$

Anleggets kuldefaktor er først og fremst avhengig av fordampnings- og kondenserings-temperaturen ( $t_0$  og  $t_k$ ), foruten kompressorens isentropiske virkningsgrad, ( $\eta_{is}$ ) og anleggets oppbygning. Ved nærmere vurderinger bør anlegget beregnes i detalj, eventuelt også benytte dataprogram og simulering ved varierende tilstander.

## 4 ENERGIBEHOV VED KLIPPFISKTØRNING

Tørking er en energiintensiv prosess og det er derfor av interesse å ha en karakteristisk størrelse som beskriver energiforbruket i en tørkeprosess. Begrepet *energiforbruk* i denne sammenheng er et uttrykk for hvor mye energi som tilføres tørkeprosessen i form av høyverdige energiformer som elektrisitet, damp, olje og gass. Det viktigste i denne sammenhengen er at man bruker like definisjoner, slik at forskjellige anlegg og forskjellige tørketyper kan sammenlignes.

Det er to definisjoner som ofte benyttes. *Energivirkningsgrad* er definert på følgende måte:

$$\text{Energivirkningsgrad} = \frac{\text{Energi til fordamping av fuktighet ved temperaturen}}{\text{Total energi tilført tørken}} \quad [12]$$

$$\text{Spesifikt energibehov til tørkingen: } SEB = \frac{\text{energibehov}}{\text{kg _ vann _ avdampet}} \text{ kWh/kg _ vann} \quad [13]$$

En annen størrelse som nå oftere benyttes er det såkalte *SMER*-forholdet (Specific Moisture Extraction Rate). Definisjonen er:

$$SMER = \frac{\text{vekt av ekstrahert vann}}{\text{forbrukt energi}} \left[ \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kWh}} \right] \quad [14]$$

$$SMER=1/SEB \quad [15]$$

SMER-faktoren angir hvor mye vann [kg] som fjernes fra produktet for hver kWh energi som tilføres anlegget og en energieffektiv prosess har derfor en høy SMER. Faktorene SMER og SEB brukes som nyttige indikatorer for effektiviteten til varmpumpetørker og er spesielt nyttig for å sammenligne forskjellige driftstilstander i anlegg av samme type.

For varmpumpetørker er det største energiforbruket knyttet til varmpumpa og spesielt drift av kompressorene. For mange industrielle tørker i dag er det imidlertid registrert at energibruk for tørkeviftene utgjør en betydelig del sammenlignet med kompressorene. En får da for klippfisktørkene:

$$SMER = \frac{\Delta x \cdot m_l}{(P_k + P_v)} \quad [16]$$

Hvor:

$m_l$  = sirkulert luftmasse [kg/s]

$P_k$  [kW] er varmpumpekompressorens energibehov og

$P_v$  [kW] er energibruk til vifter og eventuelle pumper, mv.

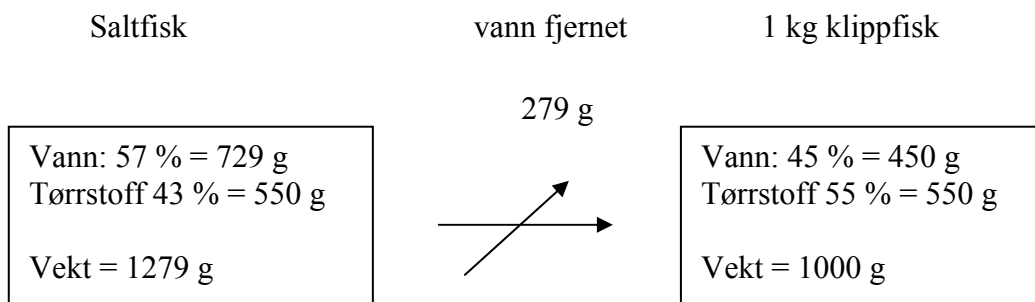
Innføres varmpumpas effektfaktor  $\varepsilon = Q_0 / P_k$  eller  $P_k = Q_0 / \varepsilon$  og benytter  $P_k = \Delta h_0 \cdot m_l / \varepsilon$  og  $P_k = \Delta h_v \cdot m_l$  Vi kan da benytte følgende uttrykk:



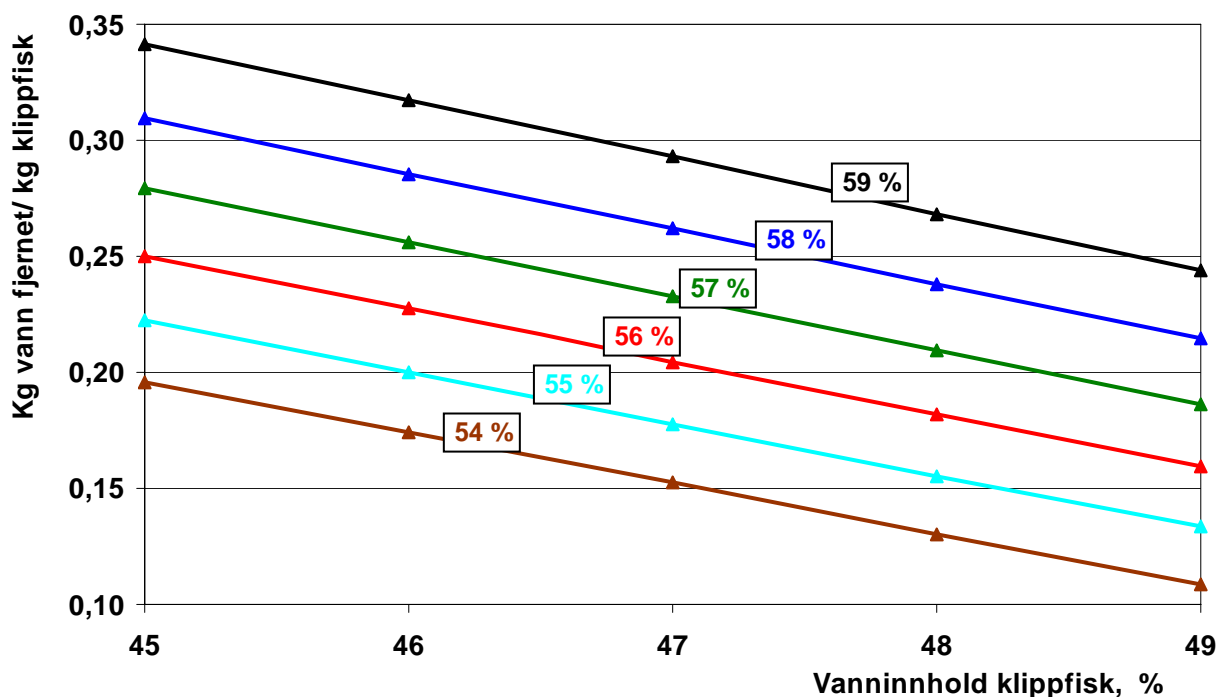
$$SMER = \frac{1}{\left[ \left( \frac{dh}{dx \cdot \varepsilon} \right) + \left( \frac{\Delta h_v}{\Delta x} \right) \right]} \left[ \frac{\text{kg vann}}{\text{kWh}} \right] \quad [17]$$

### Vannfjerning

Forutsettes videre vanninnhold i råstoffet på 57 % og tørking til klippfisk med vanninnhold 45 % er vannmengde fjernet lik:



Som det framgår av beregningen fjernes 0,279 kg vann fra fisken i tørken for hver kg klippfisk som produseres når start- og sluttvanninnhold er 57 % – 45 %. Det er imidlertid svært viktig å huske på at måten vanninnhold er definert på er spesiell og en må være oppmerksom på det store variasjoner en vil ha både på grunn av varierende vanninnhold i saltfisken og i ferdig klippfisk. For å gi en bedre oversikt over vanninnhold i saltfisken og i ferdig tørka klippfisk er det beregnet nødvendig fjernet vann pr. kg ferdig vare og avhengig av vann i råstoffet og tørrhet (Figur 5.).



Figur 5. Fjernet vann pr. kg. klippfisk avhengig av vanninnhold i råstoff og tørrhetsgrad på varen.

## 5 ENERGIBEHOV I EN GOD LANGBLÅST TØRKE

Det er i prosjektet gjennomført to omfattende målinger under drift av to langblåste tørker og en har også data fra målinger på tørka ”Langblåst 1” fra oppstart av denne. Alle målingene av temperaturer, luftforhold, energiforbruk, mv. er rimelig sikre, mens måling av ytelse eller tørkekapasitet har betydelig usikkerhet. De store variasjonene som er registrert i vanninnhold av saltfisk og spesielt i tørrhet på fisken og betydelig omtørking av fisk med for høyt vanninnhold gjør det vanskelig å benytte fjernet vann lite pålitelig. Måling ut fra luftmengder og fuktighet er også usikker på grunn av variasjoner i luftens tilstand og spesielt vanskelige luftmålinger. Ut fra vurderingene (se rapport: TRF 6320) er måling av kondensert vann på fordamperne er sikreste metode for ytelsesbestemmelse. Også dette var problematisk på grunn av rørføring og tilgang ved tunnelene og totalt sett er da bruk av målingene for å bestemme måltall for energikostnadene ved slike tunneler usikkert. ***Det er derfor valgt å benytte målingene av temperaturer, luftmengder og tilstander, energibruk sammen med beregninger for bestemmelse av måltall som bør kunne oppnås for en godt utformet, dimensjonert og godt drevne langblåste tunnel.***

En forutsetter en klippfisktørke som arbeider med en maksimal lufttemperatur på 23 °C for å sikre at en unngår brenning av skinnoverflaten (maksimalt 25 – 26 °C). Tunnelen er bygget for periodisk innsetting (semikontinuerlig) av reoler i motstrøm og er dimensjonert for midlere fuktighet ut fra produktene på 65 %. Temperaturen på fordamperoverflata er valgt til 4 °C for å unngå frysing av vannet. Ut fra Mollier-diagrammet kan derved prosessen fastlegges:

Innløpstilstand (pkt. a i fig. 4):  $x = 6,5 \text{ g/kg}$  og  $23 \text{ °C}$ ,  $h = 39,4 \text{ kJ/kg}$ .  
 Utløp (pkt. b i fig 4):  $h = \text{konstant}$  til  $\phi = 65 \%$ ,  $x = 8,35 \text{ g/kg}$ .  
 Tilstand etter fordamper (pkt. c):  $x = 6,5 \text{ g/kg}$ , temperatur  $10 \text{ °C}$ ,  $h = 26,7 \text{ kJ/kg}$ .

*Beregnet energibehov:  $dh/dx = 12,7/0,00185 = \text{ca. } 6\,900 \text{ kJ/kg vann fjernet}$ . (kan også tas direkte fra inntegnet målestokk i diagrammet)*

*Falskluft: Om en i tillegg eksempelvis har 20 % luft i tillegg som passerer uten fuktopptak og blandes tørkelufta etter vognene vil etter diagrammet utløpstilstanden bli  $x = 8 \text{ g/kg}$  og  $\phi = 58 \%$  som vil gi *energiebehov på ca. 8 000 kJ/kg vann fjernet.**

Den semi-kontinuerlige klippfisktørka er forutsatt å arbeide med en maksimal lufttemperatur på 23 °C og dimensjonert for midlere fuktighet ut fra produktene på 65 %. Temperaturen på fordamperoverflata er valgt til 4 °C for å unngå frysing av vannet. Et godt varmepumpesystem vil da kunne arbeide med kondenseringstemperatur ca. 30 °C og fordamping ved ca. -2 °C noe som gir Carnot effektiviteten på:

$$\epsilon_c = (273 - 2) / (30 - (-2)) = 8,47. \text{ Med et bra anlegg } (\eta_c = 0,425) \text{ blir anslagsvis}$$

$$\epsilon_{VP} = 8,47 \cdot 0,425 = 3,6 \text{ [kW/kW]}$$

Energibruk til vifter ( $\Delta h_v$ ) er svært avhengig av tunnelutforming, viftevalg og drift av anlegget, verdier mellom 0,6 og 0,8 kJ/kg luft er registrert på langblåste tunneler som hadde betydelig

”falskluft”. Ut fra dette burde en ved mer optimale konstruksjoner og vifter kunne forvente verdier i størrelsesorden på  $\Delta h_v = 0,4$  kJ/kg luft. Med  $\Delta x = 0,00185$  kg vann/kg luft og beregnet  $dh/dx = 6850$  kJ/kg vann fjernet vil innsetting i SMER ligningen gi:

$SMER = 1 / [ (dh / dx) / \varepsilon + (\Delta h_v / \Delta x) ] = 1 / [ (6\ 900 / 3.6) + (0,4(0.00185)) ] = 0,00047$  kg vann/ kJ eller *1,7 kg vann fjernet pr kWh energi.*

Energibehov pr kg klippfisk blir om en som tidligere forutsetter tørking fra 57 % vann i råstoffet til til 47 % i klippfisken eller en vannfjerning på 279 g pr. kg:

$$\Delta W = x_{vann} / SMER = 0,279 / 1,7 = 0,164 \text{ kWh/kg klippfisk}$$

*Dette er en verdi som forutsetter langblåst tunnel, riktig dimensjonert og driftet med de gitte forutsetninger. Med rimelig kontinuitet i innlasting og bruk av langblåste tunneler bør et mål for slike anlegg være energiforbruk i størrelsesorden 0,15 – 0,18 kWh/kg klippfisk.*

## 6 ENERGIBEHOV I EN GOD TVERRBLÅST TØRKE

I større grad enn for langblåste tunneler viser gjennomgang og målinger ved tverrblåste tørker store variasjoner i energiforbruk og verdiene gir lite grunnlag for hvilke energiforbruk en bør kunne oppnå. **Konklusjoner er derfor også her å benytte målingene av temperaturer, luftmengder og tilstander, sammen med beregninger for bestemmelse av måltall som bør kunne oppnås for en godt utformet, dimensjonert og godt drevne tverrblåst tørketunnel.**

Beregningen har grunnlag i målte verdier på to tørker av denne typen, Tverrblåst 1 og Tverrblåst 2. Målingene på Tverrblåst 1 er rapportert i TRF 6320 mens målingene på Tverrblåst 2 er beskrevet i prosjektoppgave av Ståle Alvestad ved NTNU 2006. Tallverdiene i eksempelet gjelder tørke av samme størrelse som Tverrblåst 2.

### 6.1 MÅLTE VANNMENGDER

Ståle Alvestad [7] har gitt tall for vannstrømmen slik den kan måles fra dryppanne under fordamper i de tre aggregatene i tunnelen i tørke Tverrblåst 2. Målingene er utført i de perioder studenten hadde tilgang/anledning til anlegget og periodisert etter dette og en kan beregne:

Samlet mengde vann i første periode, fra start til 1398 min.:

$$M_1 = \frac{1}{60} \int_0^{1398} 94.653 e^{-0.0007x} dx = \frac{1}{60} 94.653 \left[ \frac{1}{-0.0007} e^{-0.0007x} \right]_{x=0}^{1398} = 1407 \text{ kg}$$

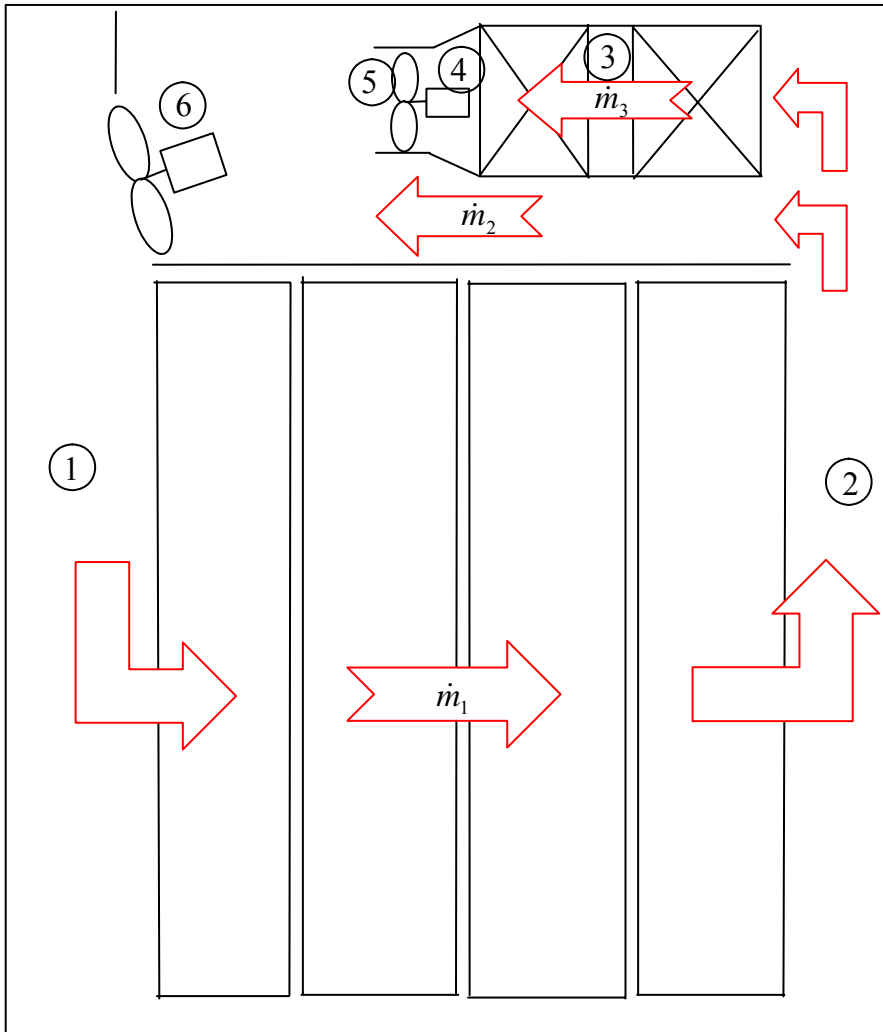
Tilsvarende for andre periode fra 1524 til 2964 min.:

$$M_2 = \frac{1}{60} \int_0^{1398} 43.609 e^{-0.0001x} dx = \frac{1}{60} 43.609 \left[ \frac{1}{-0.0001} e^{-0.0001x} \right]_{x=1524}^{2964} = 837 \text{ kg}$$

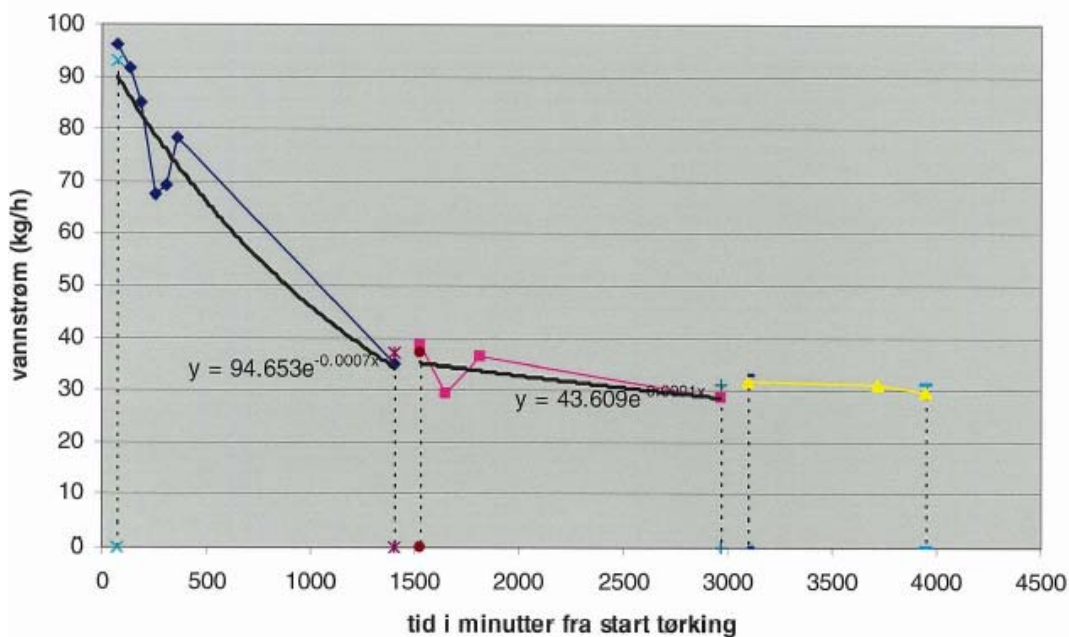
For tredje periode 3098 til 3948 min beregnes midlere målt vannmengde 30.89 kg/h som tilsvarer total vannmengde i perioden  $M_3 = 437 \text{ kg}$ .

Dette gir samlet vannmengde:  $M_1 + M_2 + M_3 = 1407 + 837 + 437 = 2681 \text{ kg}$ .

Denne vannmengden tilsvarer en tørketid  $(1398 + 1440 + 850) \text{ min} = 3688 \text{ min}$  (2 døgn, 13 timer og 28 min).



Figur 6. Snitt av ordinær tverrblåst tørketunnel og inndeling av luftstrømmene i 3 delstrømmer.  $m_1$  markerer luftstrøm gjennom vognene med fisk,  $m_3$  markerer luft som avfuktes og varmes i varmeveksleraggregat og  $m_2$  markerer luft som strømmer tilbake til sirkulasjonsviften uten å avfuktes/behandles. Delstrømmene 2 og 3 blandes foran sirkulasjonsviftene for tunnelluft (foran punkt 6).



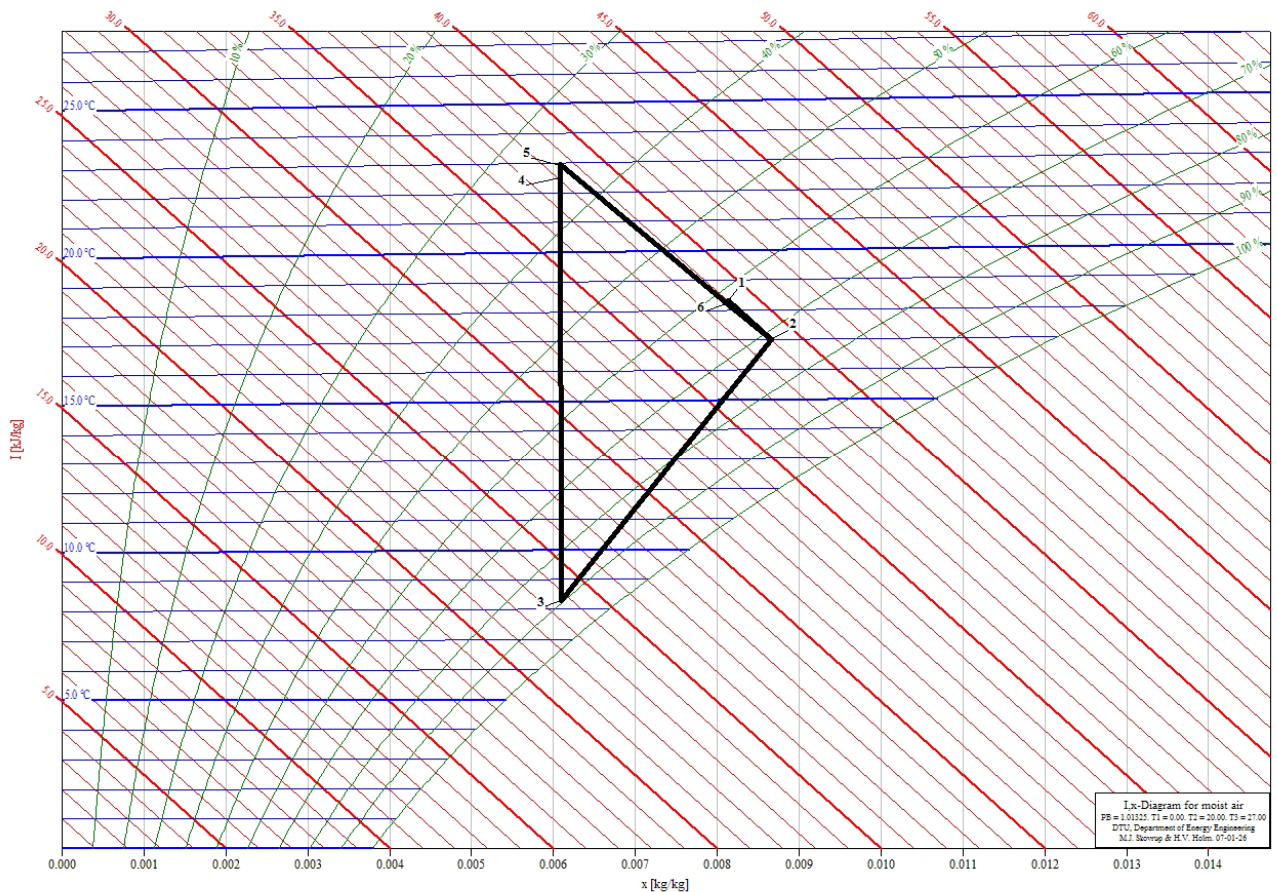
Figur 7. Målte vannmengder fra tørketunnel. Blå punkter viser 7 vannmålinger i første del fram til 24 timer. Røde punkter viser 4 målte vannmengder i perioden 24-48 timer og de 3 gule punktene viser måleverdier for tiden etter 48 timer. I tillegg vises en eksponentialkurve tilpasset målepunktene for første og andre periode.

## 6.2 TILSTANDER FOR TØRKELUFTEN

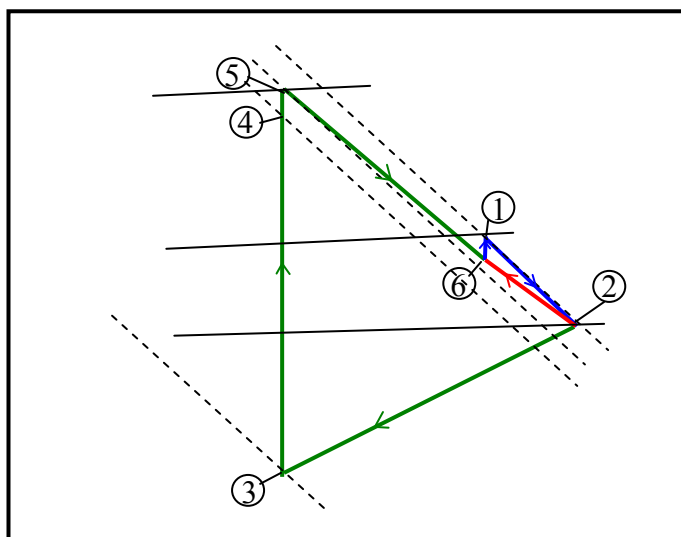
Figurene 8 og 9 viser tilstandene for tørkeluften, beregnet ut fra målinger de første 24 timer av tørkeforløpet. I Tabell 2 gis det en forklaring på de ulike prosessavsnittene og tallverdiene er gitt i Tabell 3, 4 og 5.

Tabell 2. Oversikt over lufttilstandene 1..6 som korresponderer med figurene 8 og 9.

tilstandsending	luftstrøm	anleggskomponent
1→2	1	Vogner i tunnel
2→3	3	Varmepumpens fordamper
3→4	3	Varmepumpens kondensator
4→5	3	Vifter på luftbehandlingsaggregater
5→6	3	Rom over himling – blanding av to luftstrømmer
2→6	2	Rom over himling – blanding av to luftstrømmer
6→1	1	Sirkulasjonsvifter - tunnelluft



Figur 8. Prosessen som brukes i eksempelet for tverrblåst tunnel, tegnet i hx-diagram for fuktig luft. Den driftstilstanden for prosessen som er illustrert her, gjelder det første døgnet i tørkeforløpet.



Figur 9. Skjematisert fremstilling av tørkeprosessen i Figur 8,. Luftstrøm 1 gjennom vognene med fisk er vist i blå farge, luftstrøm 3 gjennom aggregatet/ene i grønn og luftstrøm 2 i utenom aggregatet/ene, i rød.

Fra målinger på tørken Tverrblåst 2 er det verdier for temperatur og relativ fuktighet på begge sider av vognene med fisk; tilstandspunktene 1 og 2. Med disse to størrelsene kjent, kan de andre (absolutt fuktighet og entalpi) finnes fra fuktig-luft rutiner. Videre vet vi:

$$h_6 = h_1 - 120 \quad (\text{basert på energiforbruk til sirkulasjonsviftene, se kapittel 6.4.2}) \quad [17]$$

$$\text{og } x_6 = x_1 \quad [18]$$

absolutt fuktighet i tilstand 5 finnes fra massebalanse i blandingspunktet:

$$\dot{m}_1 \cdot x_6 = \dot{m}_3 \cdot x_5 + \dot{m}_2 \cdot x_2 \quad [19]$$

$$\text{som gir: } x_5 = x_1 + \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_3} (x_2 - x_1)$$

[20]

entalpien for tilstand 5 ( $h_5$ ) finnes fra energibalanse i blandingspunktet:

$$h_5 \cdot \dot{m}_3 + h_2 \cdot \dot{m}_2 = h_6 \cdot \dot{m}_1 \quad [21]$$

$$\text{som gir } h_5 = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_3} h_6 - \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_3} h_2 \quad [22]$$

$$h_4 = h_5 - 171 \quad (\text{basert på energiforbruk til aggregatviftene, se Kapittel 4.2.2}) \quad [23]$$

Relativ fuktighet i tilstand 3 anslås å ha vært 90 % ( $rh_3 = 90$ )

Dette gir til sammen grunnlag for å fylle ut tabeller med lufttilstander som vist i tabellene 3 - 5.

Tabell 3. Tilstander for tørkeluften fra målinger de første 24 timer. Tørkens tillufts temperatur (1) var begrenset til nominelt 18 °C i første døgn.

	1	2	3	4	5	6
Temperatur °C	18.3	17	8.28	22.78	22.94	18.18
Relativ fuktighet %	62.4	71.9	90	35.47	35.15	62.76
Absolutt fuktighet kg/kg t.l.	0.00815	0.00867	0.0061	0.061	0.0061	0.00815
Entalpi kJ/kg t.l.	39027	39.027	23.663	38.382	38.553	38.907

Tabell 4. Tilstander for tørkeluften fra målinger i perioden 24 – 48 timer fra start. Tilluftstemperaturen var innstilt på nominelt 21 °C i denne perioden.

	1	2	3	4	5	6
Temperatur °C	20.7	20.3	8.28	21.79	21.96	20.59
Relativ fuktighet %	44.9	47.2	90	37.30	37.30	45.11
Absolutt fuktighet kg/kg t.l.	0.00679	0.00697	0.0061	0.0061	0.0061	0.0068
Entalpi kJ/kg t.l.	38.030	38.030	23.663	37.556	37.556	37.910

Tabell 5. Tilstander for tørkeluften fra målinger i siste perioden etter 48 timer. Tilluftstemperaturen var innstilt på nominelt 23 °C i denne perioden.

	1	2	3	4	5	6
Temperatur °C	22.6	22.1	9.21	23.95	24.11	22.49
Relativ fuktighet %	42.8	45.1	90	35.21	34.87	43.08
Absolutt fuktighet kg/kg t.l.	0.00729	0.00748	0.0065	0.0065	0.0065	0.00729
Entalpi kJ/kg t.l.	41.235	41.235	25.612	40.590	40.761	41.115

### 6.3 SIRKULERTE LUFTMENGDER

Det tas videre utgangspunkt i utførte lufthastighetsmålinger for tørke Tverrblåst 2 og beregnet volumstrømmer i [7] (Ståle Alvestads prosjektoppgave) som synes rimelig i samsvar med denne type tørker:

Volumstrøm gjennom vognene: 62 m<sup>3</sup>/s

Volumstrøm gjennom luftbehandlingsaggregatene: 15.7 m<sup>3</sup>/s

Volumstrøm forbi aggregatene blir differansen av disse: 46.3 m<sup>3</sup>/s.

Med spesifikt volum 0.839 m<sup>3</sup>/kg blir massestrømmene tilsvarende  $G_{\text{totalt}} = 73.9$  kg/s,  $G_{\text{agregat}} = 18.7$  kg/s og  $G_{\text{omluft}} = 55.2$  kg/s. Dette betyr at bare ca. 25 % av luften går gjennom agregatet mens hovedstrømmen går som omluft.

### 6.4 ENERGIFORBRUK VIFTER

#### 6.4.1 Tunnelvifter

Det antas ut fra målinger at nødvendig trykkstigning gjennom viftene er 110 Pa for tunnel med 4 vogner på tvers. Hvis tunnelen innrettes slik at alle viftene kan rotere samme retning hele tiden og det brukes vifter med god energivirkningsgrad, kan denne (inkludert motorvirkningsgrad) realistisk settes til 75 %. Da forutsettes at viftene går rett vei eller at luftstrømmen snues uten at viftenes omdreiningretning snues (for eksempel kan viftene dreies). Alternativt bør en vurdere om det er nødvendig å endre strømningsretningen under drift da variasjonen av luftfuktighet gjennom



reolene er liten ved denne tunneltype. Ut fra vurderingene kan nødvendig effekt tilført viftemotor for en slik tunnel anslås til:

$$P_{\text{tunnelvifte}} = \Delta p \cdot \dot{V} \frac{1}{\eta_{\text{tunnelvifte}}} = 110 \cdot 62 \frac{1}{0.75} = 9100 \text{ W}$$

#### 6.4.2 Vifte for luftbehandlingsaggregat

Det er forutsatt en løsning hvor delstrømmen med luft som skal behandles i aggregat trekkes ut av tunnelen for behandling og sendes tilbake foran tunnelviften, slik at delstrømmene blandes i viftene. Ved å bruke en krysskobling og tilhørende ventiler på luftrørene til og fra aggregat er det da ikke nødvendig å endre retning på denne delstrømmen, og vi kan regne samme tilstander for luftstrømmene også om luften skifter retning gjennom vognene i tunnelen.

Det antas at nødvendig trykkstigning for viften er 150 Pa, da dette tilsvarer trykkfallet i tilløpsrør og i fordamper- og kondensatorbatteriene.

$$P_{\text{aggregatvifte}} = \Delta p \cdot \dot{V} \frac{1}{\eta_{\text{aggregatvifte}}} = 150 \cdot 15.7 \frac{1}{0.75} = 3100 \text{ W} \quad [24]$$

Ut fra disse forutsetninger vil samlet effektbehov for viftene ved en slik mer optimalisert drift være:  $P_{\text{vifter}} = (9100 + 3100) = 12\,200 \text{ W}$  eller 12.2 kW.

#### 6.5 ESTIMAT FOR EFFEKTBEHOV TIL VARMEPUMPE

Ved de tverrblåste tørker med innfylling av bare våt saltfisk og som kjøres hoveddelen av fisken er tørr vil driftsforholdene for avfuktingsaggregatet variere svært mye med tiden, se eksempelvis målingene i Figur 7. For beregningene er det derfor gjort en forenkling ved å dele tørkingen i tre perioder og benytte midlere driftsforhold for disse og benytte måleresultatene for "Tverrblåst 2" som grunnlag for dette som vist i Tabell 6.

Tabell 6. Verdiene er differanser i absolutte fuktigheter og entalpier fra tabellene 2, 3 og 4.

periode	$\Delta x_{\text{tunnel}}$ (gram vann/kg t.l.)	$\Delta x_{\text{fordamper}}$ (gram vann/kg t.l.)	$dh/dx_{\text{fordamper}}$ (kJ/kg vann)
1	0.52	2.57	9192
2	0.18	0.87	16513
3	0.19	0.98	15942

Fra tabellen ser en at  $\Delta x_{\text{fordamper}}$  er lavere og  $dh/dx_{\text{fordamper}}$  er litt høyere i 2. periode enn i siste periode og ikke sannsynlig, men som viser at endringene er svært små og under målenøyaktigheten i disse periodene. Verdiene er basert på målinger av temperatur og relativ fuktighet i punktene 1 og 2 i Figur 6. og kan sammenlignes med tilsvarende fra andre målinger, se i Tabell 7.

Tabell 7. Verdier for sammenligning fra målinger på 4 ulike tunneler og 7 ulike tørketilstander. X og  $\Delta x$  oppgis i gram vann/kg tørr luft,  $dh/dx$  oppgis i kJ/kg vann.

måling	Vogner i lengden	Luft inn på vogner			Luft ut fra vogner			$\Delta x_{\text{tunnel}}$ g/kg t.l.	$\Delta x_{\text{fordamper}}$ g/kg t.l.	$dh/dx$ kJ/kg
		Temp. °C	Rh %	X g/kg	Temp °C	Rh %	X g/kg			
1	16	22.7	31	5.3	19.4	48	6.7	1.4	1.4	8920
2	22	23.3	36.2	6.4	17.8	59.1	7.49	1.09	1.09	7190
3	3	20.6	54.8	8.26	19.4	62.3	8.74	0.48	1.92	7460
4	3									8400
5	4	18.3	62.4	8.15	17	72	8.67	0.52	2.57	5980
6	4	20.7	44.9	6.79	20.3	47.2	6.97	0.18	0.87	16513
7	4	22.6	42.8	7.29	22.1	45.1	7.48	0.19	0.98	15942

Tørketilstandene som verdiene i Tabell 6 refereres til.

1: Måling på tørke 'Langblåst 1', se rapport TRF6320

2: Måling på tørke 'Langblåst 2', se rapport TRF6320

3: måling på Tunnel 'Tverrblåst 1' ca 24 timer etter start tørking, se rapport 6320

4: Måling på tunnel 'Tverrblåst 1', ca 48 timer etter start tørking, se rapport 6320

5: Måling på tunnel 'Tverrblåst 2', en gang de første 24 timer fra start tørking

6: Måling på tunnel 'Tverrblåst 2', en gang mellom 24 og 48 timer fra start tørking

7: Måling på tunnel 'Tverrblåst 2', en gang mellom 48 og 60 timer fra start tørking

I Tabell 6 gis  $dh/dx$  som kan betraktes som et uttrykk for energibehovet til avvanning i tunnel og over fordamper. Den laveste verdien i tabellen gjelder tverrblåst tunneler i tidlig fase av tørkingen. Men samtidig er  $dh/dx$  for tverrblåste tunneler, sent i tørkeforløpet, langt høyere enn tilsvarende i langblåste.

## 6.6 SPESIFIKT ENERGIFORBRUK FOR TVERRBLÅST TØRKE

Fra avsnittet foran, er det mer sannsynlig at målinger og beregninger for 1. og 3. driftstilstand er riktig, enn for driftstilstand 2. I Figur 7 for målte mengder utkondensert vann vises det at det er ikke stor forskjell fra periode 2 til periode 3. Derfor brukes i videre beregning spesifikt energiforbruk fra periode 3 også i periode 2. Det er sannsynlig at denne forenklingen gir noe høyere totalt energiforbruk for tverrblåst tørke enn om korrekte tall for periode 3 hadde vært tilgjengelig.

### 1. tørkeperiode (0-24 timer):

Det brukes samme faktor for varmpumpen som i eksemplet med langblåst tunnel.

( $\epsilon_{VP} = 3,6 \text{ kW/kW}$  . Innsetting i ligning [17] gir:

$$SMER = \frac{1}{5980 \frac{1}{3.6} + \frac{0.644}{0.00257}} = \frac{1}{1744 + 251} = 0.0005 \text{ kg _ vann / kJ} = 1.8 \text{ kg _ vann / kWh}$$

Fra ligning [15]:

$$SEB = \frac{1}{SMER} = 0.5556 \text{ kWh} / \text{kg} \text{ _vann}$$

$$\text{Akkumulert energiforbruk i denne perioden: } \overline{SEB}_1 \cdot M_{\text{vann},1} = 0.5556 \cdot 1407 = 782 \text{ kWh}$$

2. *tilsvarende for 2. tørkeperiode (24-48 timer):*

$$SMER = \frac{1}{15942 \frac{1}{3.6} + \frac{0.644}{0.00098}} = \frac{1}{4428 + 740} = 0.0002 \text{ kg} \text{ _vann} / \text{kJ} = 0.72 \text{ kg} \text{ _vann} / \text{kWh}$$

$$SEB = \frac{1}{SMER} = 1.39 \text{ kWh} / \text{kg} \text{ _vann}$$

$$\text{Akkumulert energiforbruk i denne perioden: } \overline{SEB}_1 \cdot M_{\text{vann},1} = 1.39 \cdot 837 = 1163 \text{ kWh}$$

3. *I siste tørkeperiode (48-62 timer):*

$$SMER = \frac{1}{15942 \frac{1}{3.6} + \frac{0.644}{0.00098}} = \frac{1}{4428 + 657} = 0.00020 \text{ kg} \text{ _vann} / \text{kJ} = 0.72 \text{ kg} \text{ _vann} / \text{kWh}$$

$$SEB = \frac{1}{SMER} = 1.39 \text{ kWh} / \text{kg} \text{ _vann}$$

$$\text{Akkumulert energiforbruk i denne perioden: } \overline{SEB}_1 \cdot M_{\text{vann},1} = 1.39 \cdot 437 = 607 \text{ kWh}$$

Akkumulert energiforbruk:  $782 + 1163 + 607 \text{ kWh} = 2552 \text{ kWh}$

Midlere spesifikt energiforbruk:  $\overline{SEB} = 2552 \text{ kWh} / 2681 \text{ kg} \text{ _vann} = 0.952 \text{ kWh/kg vann}$

Det fjernes 279 gram vann for å produsere 1 kg klippfisk, med vanninnhold på saltfisk og klippfisk på henholdsvis 57 og 45 %. **Dermed blir energiforbruket for en god tverrblåst tørke 0.952 kWh/kg vann = 0.265 kWh/kg klippfisk og med en forutsatt tørketid på ca. 66 timer.**

Denne beregningen er gjort ut fra målte tilstander for tørkeluften i en tverrblåst tunnel, i luftstrømmen foran og etter vognene med fisk. Her er det mange mulige feilkilder. Luften foran tunnelen er en blanding av luft som har strømmet en runde gjennom vognene allerede og luft som er behandlet i aggregatene. Denne blandingen trenger ikke være fullgod, og den kan variere i tid. Disse to målepunktene var plassert midt mellom to luftbehandlingsaggregater i tunnelens lengderetning. Det kan kanskje forventes fuktigere luft der enn like under aggregatene. Men viftene for sirkulasjon av tunnelluft burde blande delstrømmene ganske

godt. Videre er det små variasjoner i temperatur, for eksempel fra innløp til utløp av tunnelen og en feilmåling kan gjøre stort utslag i beregning av lufttilstand. Det er også problematisk å sammenligne tørketunneler ut fra målte verdier under drift, når de tørker ulik fisk. Det er kjent at små fisk (1-1.5 kg) kan tørke på ned mot 2 døgn, mens stor fisk (6 kg +) kan trenge 5 døgn. Videre er tørkehastigheten for torsk bortimot 25 % kortere enn for sei.

I beregningen er det antatt at viftene er energieffektive. Det forutsettes viftevirkningsgrad på 85 % og total virkningsgrad inklusive motor på 75 %. Dette er fullt mulig, men da må tunnelviftene rotere riktig vei alltid, og reversering av luftstrømmen må gjøres på en annen måte enn å kjøre viftene med feil dreieretning. Videre må det installeres energimessig gode vifter, både med tanke på propellutforming, valg av turtall og diffusor. Det samme gjelder vifte(r) for å sirkulere luft over aggregatet/aggregatene. Denne luftstrømmen bør trekkes ut fra gangveien nedstrøms for vognene og returneres med en form for luftfordeling oppstrøms. Dermed unngås uheldige luftstrømninger når tunnel- og aggregatviftene blåser luften hver sin veg. Dessuten er det lettere å oppnå en god energivirkningsgrad på ei vifte enn på dagens løsning med 9 små vifter.

Når det ble målt på tørke Langblåst 2, var drifrutinen: Tørkeluft begrenset til 18 °C det første døgnet. Det neste døgnet var temperaturen 21 °C og deretter 23 °C. Dette gir saktere tørking enn om temperaturen hadde vært styrt på 23 °C fra starten. Dermed blir tørketiden lenger og energiforbruket pr kg produsert klippfisk blir større.

## 7 SAMMENLIGNING LANGBLÅST – TVERRBLÅST TØRKE

### 7.1 ENERGIFORBRUK

#### *Beregnet ved gode anlegg.*

Det finnes i klippfisknæringen et stort spekter av tekniske løsninger, arrangement i tunnelene, aggregattyper/avfuktingsutstyr, mv. I tillegg er det svært store forskjeller i bruk av anleggene, valg av tørketemperaturer, styring av vifter og aggregat, mv. Alle disse faktorer vil påvirke energiforbruk som derfor i praksis varierer ganske mye mellom anlegg og på et spesifikt anlegg avhengig av bruk. Om en ser bort fra variasjon av bruksmåten for anleggene er det fortsatt en betydelig forskjell i energiforbruk for de to hovedtypene av anlegg: 1: ”Langblåst tunnel”: Innmating av våt fisk i enden av luft gjennomløpet og stegvis forflytting i motstrøm med luft mot stadig tørrere luft til uttak av ferdig tørka vare. 2: ”Tverrblåst tunnel”: Oppfylling av hele tunnelen med fuktig fisk som ferdigtørkes og hvor luften føres over 3 – 4 vogner som gir liten variasjon i tørkehastighet mellom vognene. Beregningene er basert på målinger av tørkehastighet, energiforbruk av varmepumper/aggregater, vifter, mv. og en rimelig optimal bruk. Ved tørking av fisken fra 57 % til 45 % vanninnhold er beregnet:

***Spesifikt energiforbruk i god langblåst tørke: 0.164 kWh/kg klippfisk***

***Spesifikt energiforbruk i god tverrblåst tørke: 0.265 kWh/kg klippfisk***

Som forventet ut fra anleggsoppbygging og drift viser beregningene foran at spesifikt energiforbruk er langt større i en tverrblåst tørke enn langblåst. I tillegg er det spesielt ved beregning av ”tverrblåst” tørke forutsatt en langt bedre energieffektivitet for vifter enn det en har i dag samt at dagens aggregat har dårligere virkningsgrad spesielt ved liten belastning.

#### ***Målinger ved drift.***

Det er ved prosjektet gjennomført målinger på to ”langblåste tunneler” og to ”tverrblåste” (hvorav en pågående hovedoppgave) hvor hovedmålet har vært å kartlegge drift og energibruk. Et hovedproblem har imidlertid vært å måle vannmengden fjernet fra fiskene som var usikkert for flere av tunnelene. Resultatene av målingene er, sammen med anleggsstørrelser og energiforbruk, satt opp i Tabell 8. Det må her bemerkes at også fiskestørrelsen vil påvirke energibruken siden tørketiden vil variere mye med fiskeslag og størrelse, spesielt gjelder dette ”tverrblåste” tunneler som jo større fisken er jo lengre drift med lav tørkehastighet. De fleste målingene er gjort med relativt liten fisk og tørketid i tverrblåste tunneler på ca. 3 døgn.

For de langblåste tunneler viser som forventet de målte verdier god overensstemmelse med beregningene, for den svært lange tunnelen faktisk noe bedre enn beregnet. Dette skyldes i hovedsak at varmepumpa er relativt liten samtidig som den lange tunnel gir god oppfukning av lufta. Denne tunnel ble også undersøkt og gjennomført målinger på ved klippfiskprosjektet på 1970- tallet (Tabell 1.) og viste energiforbruk på ca. 0,125 kW/kg tørr fisk. Det må her presiseres at fuktigheten ved start og slutt var lavere enn vanlig og beregnet ved dagens tørker og det var usikkert om tørrhetsgraden var riktig vurdert.

Tabell 8. Målt energiforbruk for aktuelle tørker og oppbygning og anlegg.

Tørker type	”Langblåst 1”	”Langblåst 2”	”Tverrblåst 1”	”Tverrblåst ny”
Vogner i luftretningen [stk.]	16	22	3	4
Antall vogner totalt [stk.]	80	154	24	40
Energibehov totalt [kW]	63	102	39,6	90
Energibehov pr. vogn i tunnel [kW/vogn]	1,27	0,66	1,65	2,25
Målt spes. energibehov [kW/kg klippfisk]	0,190	0,159	0,396	0,540

For tverrblåste tørker viser målingene betydelig høyere energikostnad enn beregningene noe som i betydelig grad skyldes lite effektive sirkulasjonsvifter for lufta og mye ”falskluft” utenom fisken. Beregningene forutsatte svært effektive vifter som ble snudd ved snudd luftretning mens en i dag har vifter som i stor grad går med feil dreieretning og lav effektivitet. ***Som klar konklusjon er dagens ”Tverrblåste” tunneler energimessig mye dårligere enn langblåste og krever i størrelsesorden dobbelt så mye energi som ”Langblåste” tunneler.***

Som forventa ***har størrelsen av varmepumpa stor betydning for energiforbruket og dette er igjen spesielt ugunstig for tverrblåste tunneler. Dette skyldes at ytelsesbehovet for anlegget går drastisk ned når overflatefuktigheten er fjerna (etter ca 1 døgn) og kjølebehovet blir lite uten at aggregatet reguleres ned. På den andre sida er selvsagt tørkekapasiteten knytta til luftas tørrhet og derved kuldeytelsen og en får et optimaliserings problem: Kapasitet vs. Energiforbruk.*** Her bør en videre se på andre tekniske løsninger for denne type tørker, eksempelvis indirekte anlegg for flere tunneler, sorpsjonsanlegg, mv.

Sammenlignes likevel dagens tørker med de konvensjonelle hordetørker og klimaregulerte tørkes er det mye lavere energiforbruk ved bruk av varmepumper. Andre erfaringstall som hevdes fra noen var derimot at de gamle oljefyrte tørkene forbrukte olje tilsvarende 0.25 kWh/kg klippfisk. Dette stemmer ikke med målingene (Tabell 1.), men kan skyldes at tørkene bare ble benyttet ved gunstige klimaforhold og lav fuktighet. En fikk derved lavt energiforbruk, men også lite tørking, klimaavhengighet og liten anleggsutnyttelse, ujevn produksjon, mv. Høy produktivitet og jevn produksjon uavhengig av ytre værforhold krever varmepumpeanlegg og derved høyere energiforbruk enn tørking i uteluft. Fokus må settes på en total optimalisering av kostnadene for anleggene hvor energiforbruket vurderes mot produksjonskapasitet, arbeidskostnader, mv.

## 7.2 ANDRE FORHOLD

Denne rapporten behandler hovedsakelig energibehovet til de to vanlige tørketyper for klippfiskproduksjon. Det er selvsagt andre viktige forhold som påvirker en totalvurdering av hvilken tørketype som er mest egnet for hvert anlegg. Her nevnes noen:

### 1. Fleksibilitet i driften.

Når en kontinuerlig, langblåst tørke settes i drift, bør den helst kjøres kontinuerlig uten opphold så lenge som mulig. Hvis driftsstopp planlegges, er det sannsynligvis best å gradvis tømme tunnelen ved at fisk som er ferdig tørket tas ut etter hvert uten at ny saltfisk lastes inn i andre enden. Etter ca 3 døgn med redusert drift er tørken tom for fisk. Det blir lignende forhold ved oppstart fra tom tørke. Dermed får man omtrent en uke med redusert kapasitet og ekstra energiforbruk. Ikke planlagte driftsavbrudd fører for alle tørker til at fisk må tas hånd om på annet vis.

Videre er de langblåste tørkene noe mer ømfintlige for sortering av fisk etter forventet tørketid. Det bør ikke forekomme at fisk med kort tørketid (små fisk, torsk) kommer bak fisk med lang forventet tørketid (stor fisk, sei). På den annen side kan langblåste tunnel med automatisert trekking av vognene og rekkene styres hver for seg slik at dette problem minimaliseres.

### 2. Kontroll av tørrhetsgrad.

I de tverrblåste tørkene med få vogner i luftretningen kan operatøren gå inn i tunnelen og kjenne på fisken og det er bare fisk i de midtre reolene som er vanskelig tilgjengelig. I de langblåste tørkene er det som regel ikke tilkomst til annen fisk enn den som ligger på de fremste vognene. I automatiserte tunneler kan imidlertid vognens kjøres fram og gi bedre tilgang for kontroll.

### 3. Krav til bemanning.

I de langblåste tørkene bør helst vognene trekkes jevnlig for ikke å få stor grad av diskontinuitet og store sprang i vanninnhold i fisk på påfølgende vogner. Dette gir krav til en viss grad av bemanning også i helger og ferier. Det kan legges saltfisk på brett før helger og dermed er det lite behov for bemanning i helgen og behov bare for trekking av vognene eller automatisering.

De tverrblåste er enklere å tilpasse ønsket arbeidstid. Tørkene kan stilles inn til ønsket driftstid på et ur slik at de slår seg av selv, eller de kan stoppes etter signal fra for eksempel målt luftfuktighet. Slik kan de stå, for eksempel med åpen port, inntil ny arbeidsdag starter. I praksis må imidlertid i dag også disse tunnelene etterses i helger, mv.

### 4. Jevnhet i tørking.

Dette er et svært viktig punkt som berører kvalitet på ferdig produkt, salgsvekt og energiforbruk. For lite tørking kan gi reklamasjon på et helt parti hos kunden. Overtørking gir tapt salgsvekt, redusert produksjonskapasitet og økt energiforbruk. Det kan også gi redusert kvalitet. Det er særlig tapt salgsvekt som kan være dramatisk for produsentens økonomi.

Hvis vi tenker oss at vanninnholdet i ferdig tørket fisk er normalfordelt eller en annen symmetrisk fordeling rundt middelvei, vil det være et spenn mellom tørreste og våtteste fisk på kanskje flere %. Om vi overslagsmessig regner vanninnhold i saltfisk til 57 % og at et

anlegg forbruker 2500 tonn/år saltfisk i sin produksjon. Om kravet fra kundene er at vanninnholdet skal være maksimalt 47 % kan det produseres 2028 tonn klippfisk/år med nøyaktig styrt vanninnhold. Hvis derimot gjennomsnittlig vanninnhold må ned på 44 % for at den andelen som allikevel overstiger 47 % skal bli akseptabelt lite, vil det bare kunne produseres 1919,75 tonn fra samme råstoffmengde. Dermed utgjør tapt salgsvekt 108.25 tonn og med markedspris på 50 kr/kg utgjør denne differansen i salgsvekt 5.412.500:- kr/år. Mer kunnskap om tørkehastighet for aktuelle fiskeslag, fiskestørrelser, vanninnhold i råstoff, lufttilstand, mv. er derfor viktig.

Jevnhet i tørking, eller mer presist, jevnhet og kontrollerbarhet i vanninnhold for ferdig salgsvare, er derfor kanskje det aller viktigste kriteriet for anleggets økonomi. Her vil tørkens utforming også være av betydning. Innen dette prosjektet er det påvist betydelige skjevheter i tørkeforhold i både lang- og tverrblåste, og det må gjøres en totalvurdering av driftsforhold og tekniske forhold for å anbefale den tørketypen som passer best for det enkelte anlegg og deres driftsforhold. Imidlertid kan det gjøres mye med konstruksjonen av begge typer tørker for å forbedre jevnhet, se også rapport TRF6372. I tillegg til jevne forhold i tørketunnelen, bør det undersøkes om vanninnholdet kan utjevnes mellom fisker ved lagring som noen anlegg i dag forsøker.



## 8 KONKLUSJONER

Klippfiskbransjen bruker i dag utelukkende varmpumpebaserte tunneltørker i produksjonen. I disse tørkene er produsenten uavhengig av klimatiske forhold idet tørkeluften gjenbrukes og variasjonene i temperatur og vanninnhold i omgivelsene ikke har betydning for tørkingen. Varmepumpene bidrar til reduserte energibehov og jevn tørking sammenlignet med konvensjonelle tørker. Energimarkedet er i omlegging og økte priser, restriksjoner på bruk eller krav til anlegg kan forventes framover. I tillegg til generell prisoppgang, vil industri som har hatt langsiktige avtaler til gunstige priser ikke alltid kunne beholde slike avtaler. Bransjen må derfor ha spesielt fokus på mulig strømsparing og total utnyttelse av energien.

I denne rapporten er det vist to regnestykker; ett for energibehovet for en godt konstruert og driftet langblåst, kontinuerlig tørke med varmpumpe. Det andre regnestykket viser tilsvarende for en tverrblåst satsvise tørke. Eksemplene viser at det betydelige beløp å spare i redusert energiforbruk med kontinuerlig, langblåst tørke i forhold til satsvise tverrblåste tørker. Med tanke på utvikling av energipriser anbefales det at bransjen satser sterkere på denne typen anlegg i framtiden. De langblåste tørkene er noe mer omstendelige å holde i drift på grunn av kravet til kontinuitet. Det bør derfor satses mer på å utvikle produkttransporten og styringen av denne. Tørken som i rapporten er kalt 'Langblåst 1' har et framtrekksystem for vognene slik at hvert av de 5 sporene kan ha individuell gjennomløpstid og en datorer kan styre inn- og utmatning. Målet må være en videreutvikling for å automatisere inn- og uttransport, og aller helst styre denne av vanninnhold i fisken. Da oppnås de energimessige fordelene med langblåste tørker, redusert bemanningsbehov og større grad av jevnhet i vanninnhold.

Spesielt punktet for jevnhet i tørkingen, eller mer generelt; kontroll av vanninnhold i salgsklar vare er viktig. Et talleksempel viser at et anlegg som bearbeider 2500 tonn saltfisk pr år får en økning i salgsvekt på 108.25 tonn hvis gjennomsnittlig vanninnhold kan økes fra 44 % til 47 %. Hvis salgsprisen er 50 kr/kg, representerer dette en merverdi på nesten 5.5 millioner kr. Det bør også undersøkes nærmere hva som kan gjøres for å snevre inn spennet for vanninnhold i salgsvare. Dette bør være tilnærme null ved forbedrede anlegg, sortering av fisk etter tørketid og styring av tørketid for hver fisk eller vogn med fisk som har like tørkekrav. Bruk av kontrollert klimalager kan være lønnsomt for å unngå uønsket ettertørking eller også utjevning av fuktigheten.

**Referanser**

- 1: Sandvær, Ola Johan: Energisparing ved tørking av klippfisk. Rapport, Institutt for kjøleteknikk, NTH, 1980
- 2: NFFR-prosjekt III 305.04: Tørking av klippfisk. Sluttrapport, Inst. for kjøleteknikk, 1980
- 3: Strømmen, Ingvald; Tørking av Klippfisk. Dr.ing avhandling, NTH 1980
- 4: Magnussen, O. M. og Strømmen, I.; Varmepumpetørking av klippfisk, Nordisk Kjølemøte København 1982.
- 5: SINTEF-rapport: TRF6320 Energianlegg og luftfordeling i 3 klippfisktørker, 2006
- 6: SINTEF-rapport: TRF6383 Undersøkelse av tørking av klippfisk i tre anlegg. 2006
- 7: Alvestad, Ståle: Prosjektoppgave. NTNU 2006

**SINTEF Energiforskning AS**  
Adresse: 7465 Trondheim  
Telefon: 73 59 72 00

**SINTEF Energy Research**  
Address: NO 7465 Trondheim  
Phone: + 47 73 59 72 00