

www.sintef.no



**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)

**Aggregattyper og energiutnyttelse**

SAKSBEARBEIDER(E)

Ola M. Magnussen

OPPDRAGSGIVER(E)

FHL Industri og eksport, Bacalao Forum

TR NR.

DATO

OPPDRAGSGIVER(E)S REF.

PROSJEKTNR.

\* TRF6624 \*

2008-01-04

Finn-Arne Egeness

16X543.08

EL. ARKIVKODE

RAPPORTTYPE

PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)

GRADERING

071129tsn10272

Inge R. Gran

Fortrolig

ISBN NR.

FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)

OPPLAG

SIDER

978-82-594-3358-9

Inge R. Gran 

19

AVDELING

BESØKSADRESSE

LOKAL TELEFAKS

Energiprosesser

Kolbjørn Hejes vei 1d

73 59 39 50

RESULTAT (sammendrag)

Målinger på to langblåste og to tverrblåste tørker i dette prosjektet samt målinger fra 1978 -82 er gjennomgått og vurdert med hensyn på effektivitet og forbedringsmuligheter. Forutsatt dagens tunnelform og luftmengder viser beregninger at med små endringer er et mulig spesifikt energiforbruk for tørking av fisken fra 57 % til 45 % vanninnhold bør være:

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

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

Målingene som er gjennomført i prosjektet har usikkerheter med hensyn til måledata, men viser verdier i størrelsesorden:

**Langblåste tunneler: 0,16 – 0,19 kWh/kg klippfisk**

**Langblåste tunneler: 0,40 – 0.58 kWh/kg klippfisk**

**For begge tunneltyper øker energibruken med installert ytelse pr. kg råvare i tunnelene, men samtidig øker selvsagt produksjonen. En økonomisk optimal anleggsstørrelse må derfor fremkomme etter beregning av investering, driftskostnader og energiforbruk. Det synes imidlertid klart at de tverrblåste tunneler har et energiforbruk som er 2 – 3 ganger så høyt som langblåste tunneler med dagens oppbygging og styring/drift av anleggene.**

**Langblåste tunneler** har etter målinger og beregninger generelt lavt energiforbruk pr. kg fjernet vann eller pr. kg klippfisk. Resultatene viser også at energiforbruket er relativt lite avhengig av at kuldeytelsen eller varmpumpesystemet har optimal størrelse og at oppfuktning av lufta i tunnelen er noe lav.

**Tverrblåste tunneler** har generelt meget høyt energiforbruk og anleggene er ikke bygget hensiktsmessig for å få redusert energibruk. "Snuing" av vifter har ingen effekt og må brukes med riktig dreieretning, fortrinnsvis også skiftes til mer energieffektive typer. For å få energiøkonomisk tørking i de tverrblåste tørker med periodisk oppfylling må anleggene styres slik at en får høyere fuktighet under hele tørkeperioden. Nye målinger av tørkehastigheter høsten 2007 viser at luftfuktigheten har ingen eller liten effekt på vannfjerningen når det er dannet et tørrsjikt på overflaten. **Energieffektiv regulering av aggregatene krever derfor en styring av luftstrømmen gjennom fordampere samtidig som kuldeytelsen reduseres. For å opprettholde høyest mulig  $(dh/dx)_{luft}$  må kuldeytelse og luftmengde styres slik at fordampoverflaten har lavest mulig temperatur uten at frysing av kondensat oppstår.**

**Ved rehabilitering eller ombygging/nye anlegg anbefales at sentraliserte at indirekte anlegg med kompakte varmpumper med kjøling av en lake i fordampere og oppvarming av lake i kondensator vurderes. Kald lake og varm lake sirkuleres til batterier etter behov og med væskemagasin for kald og varm lake sikres stabil og energieffektiv drift. Dette gir stor fleksibilitet for utnyttelse av energien og erfaring fra andre bransjer viser øket energieffektivitet.**

**Det er behov for videre forskning og teknologiutvikling innen tørkekunnskap og effektive energisystemer.**

\* Rapporten er åpnet 2008-02-06\*

**STIKKORD**

EGENVALGTE

Klippfisk

Energi

Tørking

Tunneltype

## INNHOLDSFORTEGNELSE

---

	Side
1 BAKGRUNN .....	3
1.1 TØRKER OG ENERGIFORBRUK I DAG .....	4
1.2 ENERGIFORBRUK VED DAGENS ANLEGG .....	4
1.2.1 Beregnet optimalt energiforbruk .....	4
1.2.2 Målt energiforbruk .....	5
2 OPTIMALISERING AV AGGREGAT FOR EKSISTERENDE TØRKER .....	6
2.1 LANGBLÅSTE TUNNELER .....	6
2.2 TVERRBLÅSTE TUNNELER .....	8
2.2.1 Luftfuktighet .....	8
2.2.2 Energieffektivisering ved dagens tørker .....	10
3 REHABILITERING – OMBYGGING/NYE ANLEGG .....	14
3.1 SENTRALISERT ANLEGG .....	15
3.2 SENTRALISERT ANLEGG MED SEKUNDÆRMEDIUM (INDIREKTE KJØLING – OPPVARMING) .....	15
4 KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER .....	16
REFERANSER .....	18

## 1 BAKGRUNN

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. Omfattende undersøkelser ble gjennomført ved de da vanlige tørkeanlegg og på nyinstallert tørke med energianlegg (varmepumpe/kuldeanlegg) (Tabell 1) [1]

Ved overgang til varmepumpetørker 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.

Tabell 1. Resultater fra tidligere klippfiskprosjekt

Målinger på tre klippfisktørker (Sandvær O. J. 1978)

TØRKETYPE		Konv. hordetørke	Klimareg. hordetørke	V.P. tørke	
OPPVARMING		Direkte oljebrenner	Varmtvann fra bereder	Varmepumpe	
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	78	
DØGNPRODUKSJON <sup>*</sup>	[tonn]	4	10	17	
ENERGIFORBRUK PR. PROD. ENHET	[kWh/tonn]	El.	75	44	125 <sup>**</sup>
		Olje	800	435	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 hjelpekondensator til romoppvarming.

I prosjektet "Fremtidene klippfiskanlegg" er det gjennomført flere målinger av driftsforhold og energibruk for tørking på anlegg under vanlig drift. Målingene er i noen grad sammenlignet med teoretiske overslag over "langblåste" og "tverrblåste" tunneler. Spesielt for tunneler viser målinger uforholdsmessig høyt energiforbruk som tyder på at aggregat og/eller bruksmåte er feil/uheldig. I hovedoppgave våren 2007 [8] støttet av prosjektet er målinger på luftbehandlingsaggregatet gjennomført og driftsforholdene for dette. Oppgaven dokumenterer oppbygging eller drift og bekrefter høyt energiforbruk ved anlegget. Ut fra alle målinger er det vurdert endringer i oppbygging og drift for å bedre driftsforhold og reduserte kostnader.

Ved periodiske tørker ("tverrblåste") er driftsbetingelsene svært varierende og spesielt ved de relativt enkle aggregat med små muligheter for ytelsesregulering, vil energieffektiviteten være lav. For store tørkeanlegg vil det undersøkes mulighetene for øket driftseffektivitet ved bruk av store

aggregat med indirekte løsning med lake for kjøling og oppvarming. Dette gir muligheter for utnyttelse av kuldekapasiteten og kan dekke kjølebehovet ved varierende behov i flere tørker. Store anlegg gir også betydelig større mulighet for effektiv ytelsesregulering og vil gi lettere mulighet for utnyttelse av overskuddsenergien for oppvarmingsformål og derved bedre energi effektiviteten. Videre bør bruk av sorpsjonsanlegg vurderes og eventuelt utføres målinger under drift.

## 1.1 TØRKER OG ENERGIFORBRUK I DAG

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. Hovedårsaken til endring av tørkertyper er at bedriftene mener at driftsform med innfylling bare noen timer en dag og kun kontroll av driften fram til uttak etter 3 til 5 dager (etter fiskestørrelsen) er driftsmessig enklere enn stadig uttak og innsetting av vogner. Imidlertid erfares det at en har stor variasjon i tørrhet ut av tørkene, behov for betydelig grad av ny tørking av ”slakk” fisk, samtidig med overtøking som gir stort økonomisk tap. Med de raskt stigende prisene i dagens energimarked, er det nå nødvendig også å vurdere forskjellen i energikostnad før valget faller på tverrblåst kontra langblåst tørke.

I FoU- prosjektet som FHL startet opp i 2005 er det gjort målinger på tre tunneler sommeren 2005 og resultater fra dette arbeidet er samlet i rapportene [5] og [6]. Videre er det gjennomført eller under gjennomføring prosjekt og hovedoppgaver ved NTNU på en ny tverrblåst tørke. Resultater

fra målinger på i alt 4 anlegg er benyttet som grunnlag for beregning av behovet for energi i rapporten: Sammenligning av langblåste og tverrblåste klippfisktørker [7]. Hovedkonklusjonene fra rapporten er at 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.

## 1.2 ENERGIFORBRUK VED DAGENS ANLEGG

### 1.2.1 Beregnet optimalt energiforbruk

Beregninger basert på målingene av tørkehastighet, energiforbruk av varmpumper/aggregater, vifter, mv. og en rimelig optimal bruk for tørking av fisken fra 57 % til 45 % vanninnhold er anslått til:

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

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

Dette er verdier som forutsetter dagens anlegg som drives optimalt med innfylling/uttak, jevn fiks/tørketid (3 døgn), mv. For de tverrblåste tunneler er det også forutsatt bedre vifter, ingen

vifter med feil luftretning, mv. og bedre styring av aggregatene noe som vil kreve ombygging av anleggene.

### 1.2.2 Målt energiforbruk

Det er 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 2. 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 relativ liten fisk og tørketid i tverrblåste tunneler på ca. 3 døgn.

Tabell 2. Målt energiforbruk for aktuelle tørker og oppbygning og anlegg.

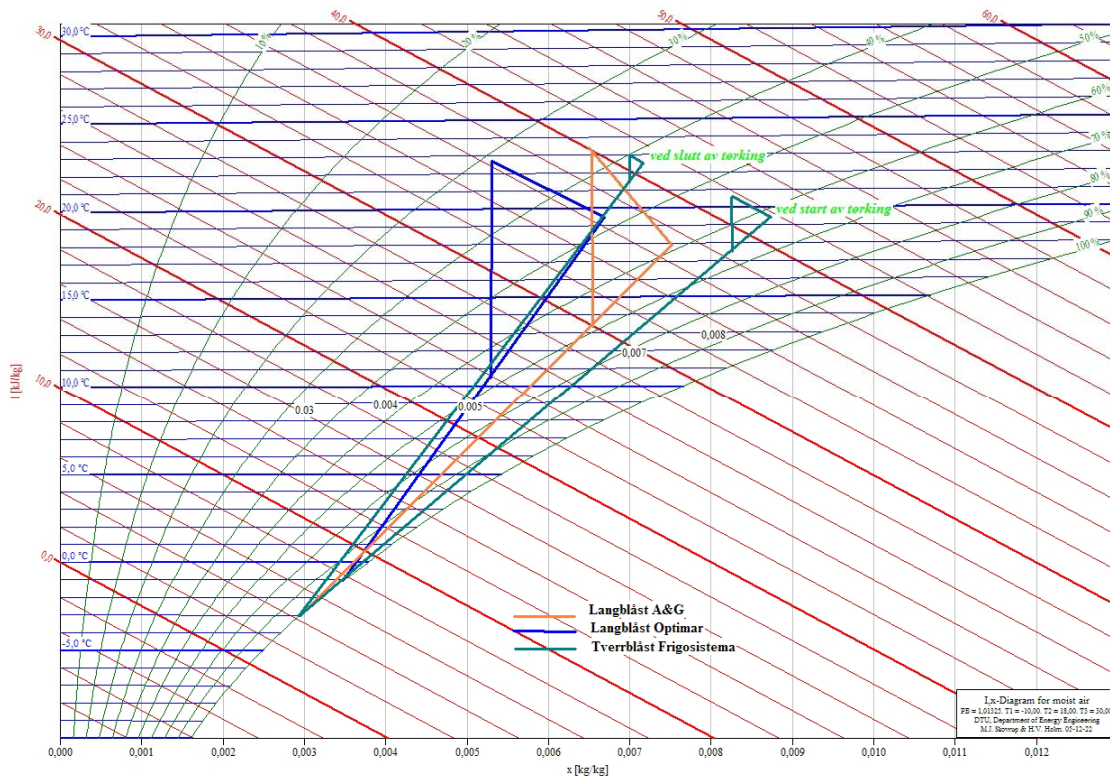
Tørker type	”Langblåst 1”	”Langblåst 2”	”Tverrblåst 1”	”Tverrblåst ny”
Vogner i luftretningen [stk.]	16	22	3	4
Antall vogner totalt [stk.]	80	154	24	40
Energibehov totalt [kW]	63	102	39,6	90
Energibehov pr. vogn i tunnel [kW/vogn]	1,27	0,66	1,65	2,25
Målt spes. energibehov [kW/kg klippfisk]	0,190	0,159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

For tverrblåste tørker viser målingene betydelig høyere energikostnad enn beregningene noe som i noen 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. En annen hovedgrunn er at ved den høye tørrhet i lufta 2 og 3 døgn og lave dx/dh er effekten av full drift av aggregatet liten effekt på luftens fuktighet. ***En klar konklusjon er at dagens ”Tverrblåste” tunneler energimessig mye dårligere enn langblåste og krever i størrelsesorden dobbelt så mye energi som ”Langblåste” tunneler.***

I Tabell 2. er det også satt opp målt energiforbruk og antall vogner i tunnelene samt beregnet forhold mellom disse. Størrelsen av varmpumpa og lufthastigheter har stor betydning for tørkekapasitet og -hastighet. For ***langblåste tunneler*** er tilstrekkelig lengde for at høy luftfuktighet oppnås viktig og videre er varmpumpas ytelse bestemmende for inngående luftfuktighet og derved tørkekapasitet. Som det går fram av Figur 1 gir ”Langblåst 2” (Alfsen & Gundersen) bedre oppfukning med lang tunnel, mens ”Langblåst 1” får mindre oppfukning på

grunn av lengde og større varmpumpe. *Målingene viser imidlertid at denne tunneltype gir lite tap i energieffektivitet også ved en stor varmpumpe og høy tørkekapasitet pr. vogn.*

*Målingene viser at stort energianlegg i forhold til antall vogner er spesielt ugunstig for energiforbruket ved tverrblåste tunneler.* Dette skyldes at ytelsesbehovet for anlegget går drastisk ned når overflatefuktigheten er fjerna (etter ca. 1 døgn) og effekten av stort aggregat på tørkekapasiteten liten mens energiforbruket er høyt ved dagens driftsmåte.



Figur 1. Prosessen for tørkeluften er tegnet inn for 3 undersøkte tørker. Forløpet til luften også gjennom tørketunnelen "Langblåst A&G" følger i virkeligheten tilnærmet linje for konstant entalpi. Avviket fra  $h = \text{konstant}$  i diagrammet skyldes unøyaktighet ved måling, varmetap, mv. [6].

## 2 OPTIMALISERING AV AGGREGAT FOR EKSISTERENDE TØRKER

### 2.1 LANGBLÅSTE TUNNELER

Karakteristisk for denne tunneltype er at tørkeluften alltid passerer over fisk med våt overflate ved utløp. Ved tilstrekkelig lengde i forhold til luftmengde og startfuktighet vil luftfuktigheten alltid være høy og gi høy energieffektivitet ( $dx/dh$ ) for tørkeluften. Videre vil totaleffektiviteten være avhengig av en god varmpumpe (høy COP) for avfukting og oppvarming. Dette krever en riktig dimensjonering ut fra ønsket luftfuktighet ved utløp som er bestemmende for energieffektiviteten. Forutsatt en rimelig god varmpumpe vil kapasitet og energiforbruk variere med ytelsen av denne og tunnelutforming som må være tilpasset ønsket produksjon. Dette er beregningsmessig krevende både kompetansemessig og på grunn av arbeidsmengden. Med utgangspunkt i undersøkte tunneler og luftmengder, fuktigheter, mv er for en rimelig god langblåst tunnel tidligere beregnet [7] energiforbruk:

Tunnelen har periodisk innsetting (semikontinuerlig) av reoler i motstrøm og er dimensjonert for midlere luftfuktighet etter produktene på 65 %. Temperaturen på fordamperoverflata er valgt til 4 °C for å unngå frysing av I Mollier-diagrammet kan derved prosessen fastlegges:

Innløpstilstand:  $x = 6,5 \text{ g/kg}$  og  $23 \text{ °C}$ ,  $h = 39,4 \text{ kJ/kg}$ .  
 Utløp:  $h = \text{konstant}$  til  $\phi = 65 \%$ ,  $x = 8,35 \text{ g/kg}$ .  
 Tilstand etter fordampe:  $x = 6,5 \text{ g/kg}$ , temperatur  $10 \text{ °C}$ ,  $h = 26,7 \text{ kJ/kg}$ .  
 Beregnet energibehov:  $dh/dx = 12,7/0,00185 = \text{ca. } 6\,900 \text{ kJ/kg vann fjernet}$ .

Med en maksimal lufttemperatur på  $23 \text{ °C}$  og temperatur på fordamperoverflata på  $4 \text{ °C}$  for å unngå frysing av vannet vil et godt varmepumpesystem vil da kunne arbeide med kondenseringstemperatur ca.  $30 \text{ °C}$  og fordamping ved ca.  $-2 \text{ °C}$  noe som med et bra anlegg kan gi:

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

Energibruk til vifter ( $\Delta h_v$ ) er svært avhengig av tunnelutforming, viftevalg og drift av anlegget og med optimale konstruksjoner og gode vifter forutsatt  $\Delta h_v = 0,4 \text{ kJ/kg}$  luft. Med  $\Delta x = 0,00185 \text{ kg}$  vann/kg luft og  $dh/dx = 6850 \text{ kJ/kg}$  vann fjernet vil innsetting i SMER ligningen gi:

$$SMER = 1 / [ (dh / dx) / \varepsilon + (\Delta h_v / \Delta x) ] = 1 / [ (6\,900/3.6) + (0,4(0.00185)) ] = 0,00047 \text{ kg vann/ kJ}$$

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 klippfisk eller en vannfjerning på 279 g pr. kg:

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

Ytelsen for varmepumpa beregnes fra:  $dh/dx = 6\,900 \text{ kJ/kg}$  vann og vann fjernet pr kg klippfisk på  $0,279 \text{ kg}$  vann/kg klippfisk eller:  $6900 \times 0,279 = 1925,1 \text{ kJ/kg}$  klippfisk.

For et anlegg med produksjon på 10 tonn/døgn vil dette da kreve fordamperytelse på:

$$Q_0 = 1925,1 \times 10\,000/24 \times 3600 = \underline{222,8 \text{ kW}}$$

For å vise effekten av størrelsen på varmepumpa er forutsatt en reduksjon av fordamperytelsen på ca. 30 %, men forutsatt samme lufttemperatur, luftmengde, vifter, mv. og at en arrangerer og driver tunnelen slik at fuktigheten i luften etter fisken opprettholdes. Prosessen vil da endres ved at fuktighet ved innløpet øker, flyttes til høyre i Mollier-diagrammet og ved bruk av diagrammet finnes:

Luftfuktighet ved innløp:  $\phi_{inn} = 42 \%$  ved  $23 \text{ °C}$  og  $x = 0,00836 \text{ kg}$  vann/kg luft og forutsatt tørking uten varmetap til  $\phi = 65 \%$  og da  $x = 0,0101 \text{ kg}$  vann/kg luft. Videre finnes:

$$dh/dx = 10,1/0,00174 = 5804,6 \text{ kJ/kg vann og}$$

$$SMER = 1 / [ (dh / dx) / \varepsilon + (\Delta h_v / \Delta x) ] = 1 / [ (6\,900/3.6) + (0,4/0.00185) ] = 0,000543 \text{ kg vann/ kJ}$$

eller *1,954 kg vann fjernet pr kWh energi og 0,143 kWh/kg klippfisk*

Endringen gir en reduksjon i energikostnaden på  $E = 0,164 - 0,143 = 0,021 \text{ kWh/kg}$  klippfisk eller ca 13 %. Samtidig reduseres tørkekapasiteten:  $G_{red.} = 10 \text{ tonn} \cdot (\Delta x_{red.} / \Delta x) = 9,4 \text{ tonn}$ . (6 %) Videre er en avhengig av at tørke er arrangert slik at en oppnår tilstrekkelig oppfukning. Om tunnelen bygges for kort vil en betydelig endring av ytelse og energiforbruk.



Om tunnelen bygges for kort vil dette resultere i at en ikke oppnår den forutsatte oppfukting. For å se på følsomheten i energikostnad i dette tilfelle er det gjennomregnet et eksempel med oppfukting til  $\varphi_{ut} = 60\%$  og ellers likt anlegg. Ved inntegning i Mollier diagrammet finnes verdiene  $\Delta h = 12,2$  kJ/kg og  $\Delta x = 0,00735$  som gir  $dh/dx = 7394$  kJ/kg vann og:

$SMER = 1 / [ (dh / dx) / \epsilon + (\Delta h_v / \Delta x) ] = 0,000436$  kg vann/kJ eller 1,57 kg vann/kWh som igjen gir:  $\Delta W = \Delta x_{vann} / SMER = 0,279 / 157 = 0,178$  kWh/kg klippfisk. (økning på 8,5 %)

## Konklusjon

**Langblåste tørker viser generelt svært lavt energiforbruk pr. kg klippfisk.** Varmepumpas kuldeytelse bestemmer tørkekapasiteten og utnyttes fullt ut hele tiden ved god kontinuitet ved tørkingen. Tunnelens lengde må være tilpasset luftmengde eller hastighet over varen slik at god oppfukting oppnås. Energiforbruket øker med redusert fuktighet ved utløpet, men ikke dramatisk om fuktigheten øker til 55 – 60 %. Tunnelformen (antall vogner i tunnelretningen) må tilpasses varmepumpa og krever beregningsverktøy for effektiv dimensjonering og styring. Eksisterende simuleringsverktøy for tørketunneler bør utvikles og tilpasses dagens datateknologi (program fra 1979 /- 81 er ikke brukbart) og gjøres brukervennlig.

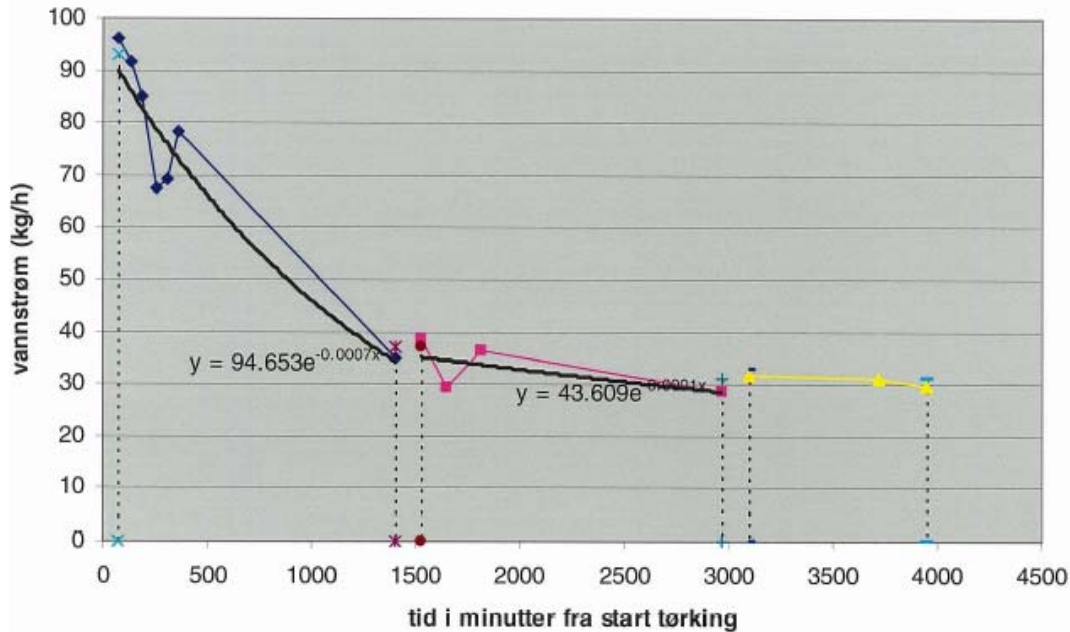
## 2.2 TVERRBLÅSTE TUNNELER.

### 2.2.1 Luftfuktighet

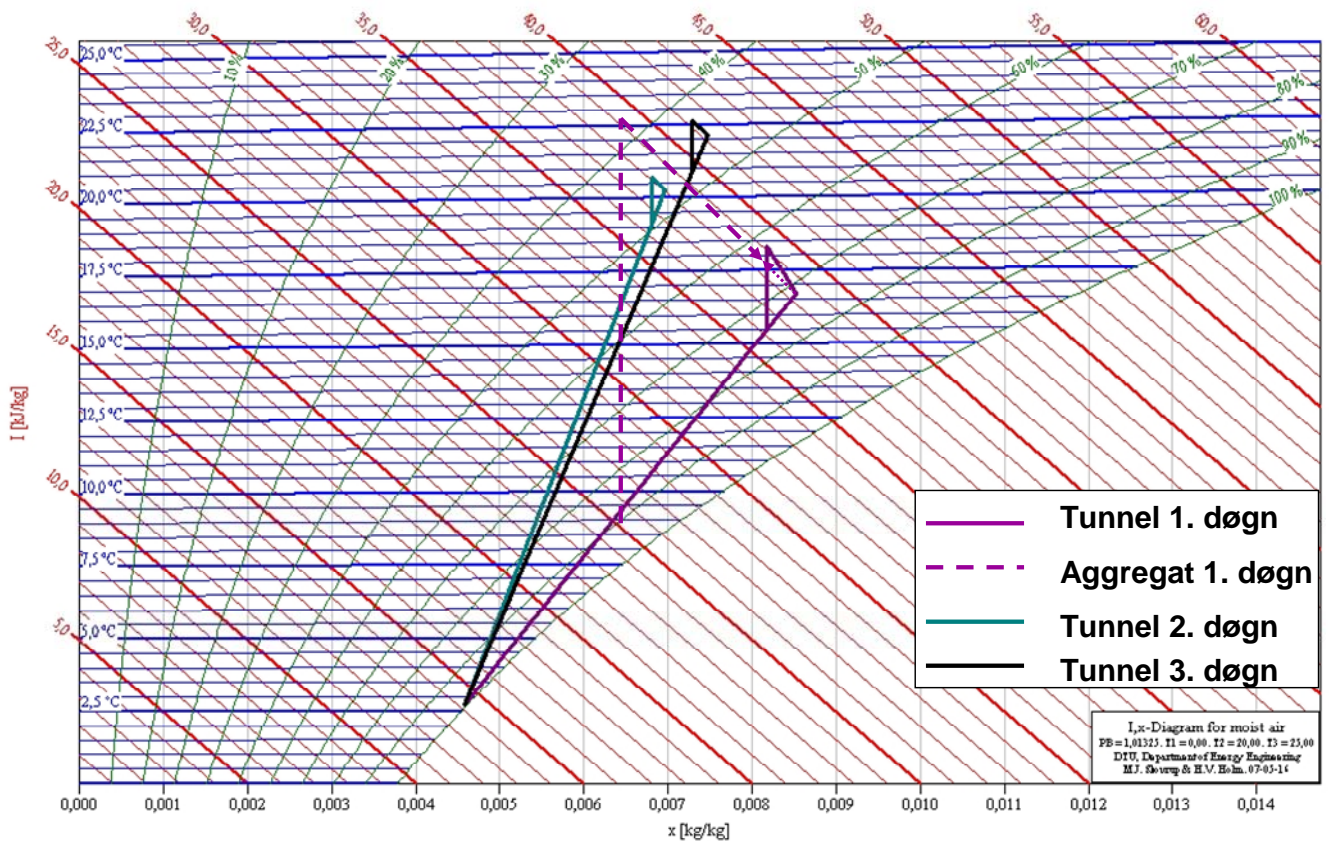
Det energimessig karakteristiske for tverrblåste tunneler er den svært varierende avfuktning og lav oppfukting eller endring i relativ fuktighet over varene, spesielt etter at overflatetørkingen er over. Som eksempel er det i Figur 1 vist en måling av kondensert (fjernet) vann i en tunnel med relativt stort avfuktingsanlegg avhengig av driftstid etter innlasting av våt saltfisk. Som en ser vil fordampingen fra den fuktige overflate gi stor vannmengde som raskt avtar ettersom dette lett tilgjengelige vann fordamper og en får en hinne av tørt materiale som vannet må transporteres igjennom. Når dette tørrsjiktet er oppstått er transportmotstanden stor og som en ser er endringene i vannfjerning relativt konstant selv om luften blir stadig tørrere og dermed øker drivkraften for tørking. Dette tyder på at det ikke bare er diffusjonsmotstanden av vanndamp i tørrsjiktet som styrer tørkehastigheten, men andre faktorer som vanntransport til tørkefronten, vanntransport i dette sjiktet, tørrhet, mv. **Resultatene av målingene har gitt ny viktig kunnskap som viser at tidligere teori ikke stemmer for denne type tørking. Videre undersøkelser av tørkehastighet avhengig av alle disse parametere vil derfor være viktig for å få et bedre beregningsgrunnlag for klippfisktørking og "Fremtidens klippfiskanlegg".**

Ved dagens tverrblåste tunneler fjernes vanndampen ved at en grenstrøm fra tørka går gjennom et eller flere avfuktingsaggregat og den tørre og varme luften fra disse blandes med omluften til ønsket temperatur. Aggregatene har ingen ytelsesregulering eller regulering av luftstrøm og med avtagende vanndampstrøm fra varen vil fuktigheten avta som målingene på anlegget (Figur 2.).

Figur 3. viser forholdene i tunnelen med heltrukket linje mens grenstrømmen gjennom aggregatene er for 1. døgn vist som striplet linje og vist blandet med returluft fra tørka. Siden kuldeytelsen for aggregatet er tilnærmet konstant vil aggregatets nedkjøling av luften ( $\Delta h = q_0$ ) være den samme om en får tørrere luft. Derimot vil som en ser fra figuren vannmengden som



Figur 2. 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 sort eksponentialkurve tilpasset målepunktene for første og andre periode.



Figur 3. Målinger av lufttilstander over varene ved en tverrblåst tunnel. [Ref. 8]

fjernes pr. kg luft avta med økende helling av kurva og derved vil energibruken være den samme med lavere vannfuktfjerning. Ut fra målingene og figuren kan en finne følgende resultater:

1. døgns tørking:  $\Delta x_{\text{vogner}} = 0,00867 - 0,00815 = 0,00052$  kg vann/kg tørr luft  
 2. og 3. døgns tørking:  $\Delta x_{\text{vogner}} = 0,00697 - 0,00679 = 0,00018$  kg vann/kg tørr luft

Tørkingen ved de lave luftfuktigheter en får i 2 og 3. døgn krever altså om lag 3 ganger så mye energi som i 1. døgn. ***Skal en få energiøkonomisk tørking i de tverrblåste tørker med periodisk oppfylling må derfor anleggene styres slik at en får høyere fuktighet under hele tørkeperioden. Dette vil da trolig gi noe lavere tørkehastighet og øket tørketid.***

## 2.2.2 Energieffektivisering ved dagens tørker.

### 2.2.2.1 Vifter

Energiforbruket for viftene er oftest en betydelig faktor for mange tverrblåste tunneler fordi sirkulert luftmengde er stor og med liten oppfuktning over produktene. De fleste tunneler har dessuten vifter med liten diameter/høyt turtall og målinger utført i en hovedoppgave viser svært lav virkningsgrad, ned mot 25 %. Ved å se på viftelieferandørens katalog vil den verdien som en finner der for driftsforholdene ved tunnelene være på ca. 35 % (mot en optimal vifte med 75 %). I tillegg er mange tunneler bygget med vifter som periodisk ”snus” (roterer feil vei), tidels er også annenhver vifte montert slik at 50% roterer feil vei hele tiden. Med den lille variasjon i fuktighet gjennom tunnelen har ”snuing” av viftene liten hensikt for å få jevnere tørking mellom inn og utløp av lufta. (Effekten av varierende fiskestørrelse på samme brett/vogn er betydelig større. ***Viftene må derfor drives med riktig dreieretning uten ”snuing”, fortrinnsvis også skiftes til mer effektive typer. Trolig bør også lufthastigheten reduseres når en får oppbygget et tørrsjikt på fiskeoverflatene som reduserer vanntransporten, tørkeforsøk som bekrefter dette planlegges.***

De tverrblåste tunneler vil på grunn av arrangementet med få, vanligvis bare 3 eventuelt 4 vogner i dybden sirkulere svært stor luftmengde for å opprettholde den lufthastighet gjennom vognene som er i lande tunneler. Den høye lufthastighet og ”kort” strømningsflate vover varen noe som er kompensert ved at bare en del av luften går gjennom aggregatene (se Figur 2.) og blandes med hovedstrømmen. Ut fra det en ser ved måling av tørkehastigheten er trolig lufthastigheten unødvendig stor, kanskje bortsatt fra i startfasen mens produktoverflaten er fuktig. Energi kan da trolig spares ved at viftenes turtall reduseres og trykktap og volumstrøm avtar. Imidlertid kommer da ulempene med tverrblåste tørker igjen fram ide forholdet mellom totalt sirkulert mengde og mengde gjennom aggregat avtar. Om dette ikke reguleres i samme forhold vil innløpsfuktigheten (Figur 3.) forrykkes til lavere fuktighet. Dette vil trolig ikke gi merkbar større fuktopptak over vognene og gi reduksjon i utløpsfuktighet og derved øket  $(dh / dx)$  (lavere energieffektivitet).

### 2.2.2.2 Vannfjerning ved aggregat

Den totale vannfjerning i varmepumpeaggregatet er gitt av:

$$G_{\text{vann}} = (x_{\text{inn}} - x_{\text{ut}}) \cdot m_{\text{luft}} = \Delta x \text{ [kg vann/kWh]}$$

Varmepumpas kuldeytelse vil gi nedkjøling av sirkulert luft gjennom aggregatet som gitt av:

$$Q_0 = (h_{inn} - h_{ut}) \cdot m_{luft} \text{ [kW]} \quad \text{Lign. [3.1]}$$

hvor:  $h$  = Varmeinnhold ( kJ/kg fuktig luft) og  $m_{luft}$  = Sirkulert luft (kg/s). Med gitt lufttilstand inn og temperatur på kjøleflata vil endring i fuktinnhold ( $x_{inn} - x_{ut}$ ) være gitt som vist i figur 3.

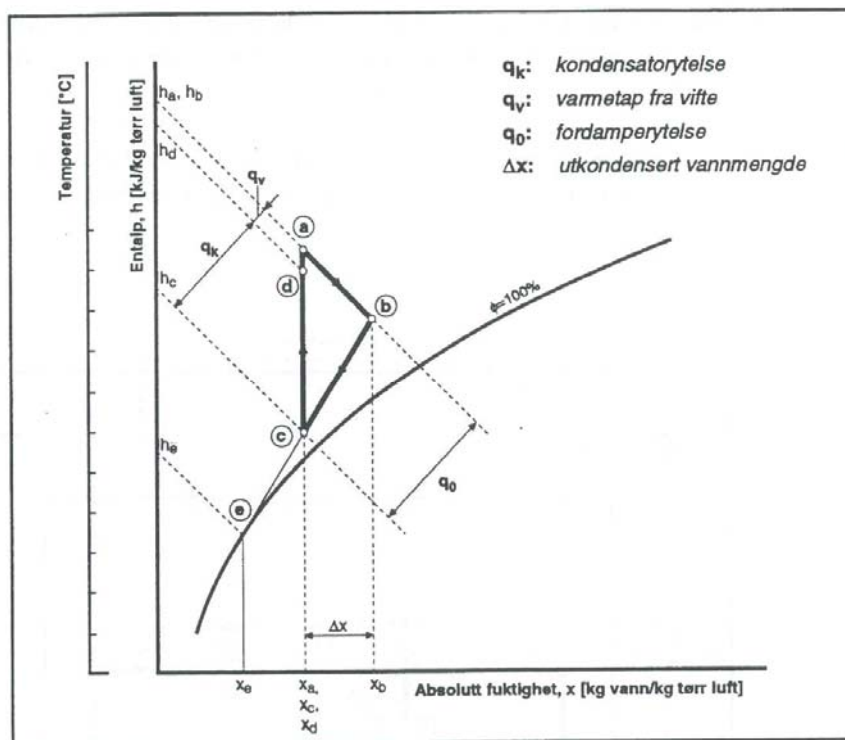
Den totale vannmengde som kondenseres er da gitt avfukting pr kg og sirkulert mengde luft:

$$G_{vann} = \Delta x \cdot m_{luft} = \Delta x \cdot (\rho_{luft} \cdot V_{luft}) \text{ kg/s.} \quad \text{Lign. [3.2]}$$

Hvor:  $V_{luft}$  [ $m^3$ ]: Volum av sirkulert luft gjennom aggregat(ene) og  $\rho_{luft}$  [ $kg/m^3$ ]: Tetthet av lufta som i en klippfisktørke med nært konstant temperatur (ca. 20 °C) er  $\rho_{luft} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ .

Totalt sett er altså avfuktingen avhengig av lufttilstanden (temperatur og fuktighet) etter tørka (Figur 4. pkt. b), temperaturen på kjøleflata (Figur 4. pkt. e) som igjen avhenger av varmepumpas kuldeytelse, kjølerflate og belastning av lufta) og luftmengde gjennom aggregat(ene).

$$G_{vann} = f [T_{luft}, (dh/dx)_{luft}, Q_0, V_{luft \text{ aggregat}}]$$



Figur 4 Tørkeprosessen ved bruk av varmepumpe vist i Mollierdiagram

Ligningen viser at vannmengden som fjernes ved aggregatene avhenger av temperatur og luftfuktighet ut av tunnel, luftmengde gjennom fordampner og kondensator og at ytelsen og komponentene for varmepumpa er tilpasset den aktuelle driftstilstand. Som vi har sett ved en rekke målinger på anlegg og vist ved teoretiske beregninger varierer behovet for vannfjerning svært mye under en tørkesyklus for denne type anlegg. **Hovedutfordringen er derfor å bestemme hvordan en kan styre mengden vann som fjernes med denne type anlegg på en energieffektiv måte.**

### 2.2.2.3 Styring og drift av aggregat.

Aggregatene består av en tilpasset fordampner, kondensator, kompressor samt vifter og regulering/styresystem hvor komponentene er tilpasset hverandre. Vifta gir en luftstrøm ( $V_{\text{luft}}$ ) som strømmer over den kalde flata ( $F_{\text{ford.}}$ ) og avgir varmen ( $q_0$ ) (se Figur 4) som belaster kuldesystemet. Derved er kjølebehovet bestemt av luftmengde/-hastighet, lufttilstand inn på fordampner, fordampertemperatur og varmeovergang luft- fordampner:

$$[ q_0 = \alpha \cdot F_{\text{ford}} \cdot (h_b - h_e) = (h_{\text{inn}} - h_{\text{ut}}) \cdot (\rho_{\text{luft}} \cdot V_{\text{luft}}) ] ; \quad \text{Lign. [3.3]}$$

Dessuten er varmeovergangen avhengig av lufthastigheten [ $\alpha = f(V_{\text{luft}})$ ] i ikke lineært forhold. Dette betyr eksempelvis at en reduserer kuldeytelsen uten å endre luftmengde vil overført varme fra lufta bli redusert ved at temperaturen på fordampner økes inntil balanse med ytelsen ( $q_0$  – som igjen øker med fordampertemperaturen). Konsekvensen er eksempelvis at om en reduserer bare kuldeytelsen vil fordampertemperaturen stige ( $h_e$  og  $h_{\text{ut}}$  økes i lign.3.3) og derved øker  $(dh/dx)_{\text{luft}}$  som igjen betyr redusert energieffektivitet i tørkinga. Den totale effekt av denne regulering vil derfor være usikker og kan i verste fall gi økt totalt energiforbruk ved lave fuktigheter.

***Energieffektiv regulering av aggregatene vil derfor kreve en styring av luftstrømmen gjennom fordampneren samtidig som kuldeytelsen reduseres. For å opprettholde høyest mulig  $(dh/dx)_{\text{luft}}$  må kuldeytelse og luftmengde styres slik at fordampneroverflaten har lavest mulig temperatur uten at frysing av kondensat oppstår.***

#### ***Start - stopp av aggregat.***

Som gjennomgått er luftfuktigheten eller  $(dh/dx)_{\text{luft}}$  en helt kritisk faktor for å kunne oppnå lavt energiforbruk i tørketunneler. Det enkleste ved dagens anlegg vil være reduksjon av vannfjerningen ved periodisk stopp av aggregatene. (Dette skal ifg. en aggregatleverandør er dette innlagt som mulighet i styresystemet, men det er uklart om dette er i bruk) Forutsetning for denne reguleringsmetode er at en må tillate variasjoner i luftfuktigheten ved at hovedviftene for tunnelen går slik at vann fortsatt tas opp og øker fuktigheten. Begrensingen vil da trolig være at hovedviftene tilfører betydelig varme og temperaturen vil stige og en risikerer brenning av fisken. Trolig bør en samtidig redusere viftekapasitet (lufthastighet og energibruk), ***videre målinger av lufthastigheten effekt på tørkehastighet vil være viktig for videre optimalisering av tørkeprosessen.***

Generelt vil også utfordringene være valg av viftetyper og plassering av enhetene er slik at en unngår ujevne temperaturer og fuktighet. Beregninger og simulering (eks. vis "Fluent") vil være viktige verktøy, men målinger bør gjennomføres ved anlegg. Anleggene må de styres av temperatur og fuktighet og en bør da tillate en rimelig stort variasjonsområde for å unngå for mange start – stopp. Hurtig start – stopp er driftsmessig uheldig for kompressor og spesielt elektromotor, starter, mv. og det bør avklares med leverandør av anlegget.

#### ***Regulering av kompressor(enes) ytelse.***

Ingen av de anlegg vi har sett og kjenner til har ytelsesregulering av kompressorene. Vi har imidlertid registret at kompressorfabrikanten ved noen anlegg har dette som en innbygget mulighet, eksempelvis ved utkobling av sylindere. Ved å løfte sugeventilene mekanisk kan en få

en redusert ytelse i trinn på en rimelig effektiv måte, begrensningen ligger i at noen kompressortyper må ha en viss gassmengde for kjøling. Slike tiltak må gjøres etter instruks og retningslinjer fra leverandøren.

En bedre regulering kan oppnås ned bruk av frekvensregulering av strømmen til drivmotoren. Slike regulatorer er i dag forholdsvis rimelige i innkjøp og kan kontinuerlig nedsette rotasjonshastigheten og derved ytelsen. Også ved denne type regulering av ytelsen er det begrensning på grunn av smøre og/eller kjøle problem og tiltakene gjøres etter avtale med leverandørene.

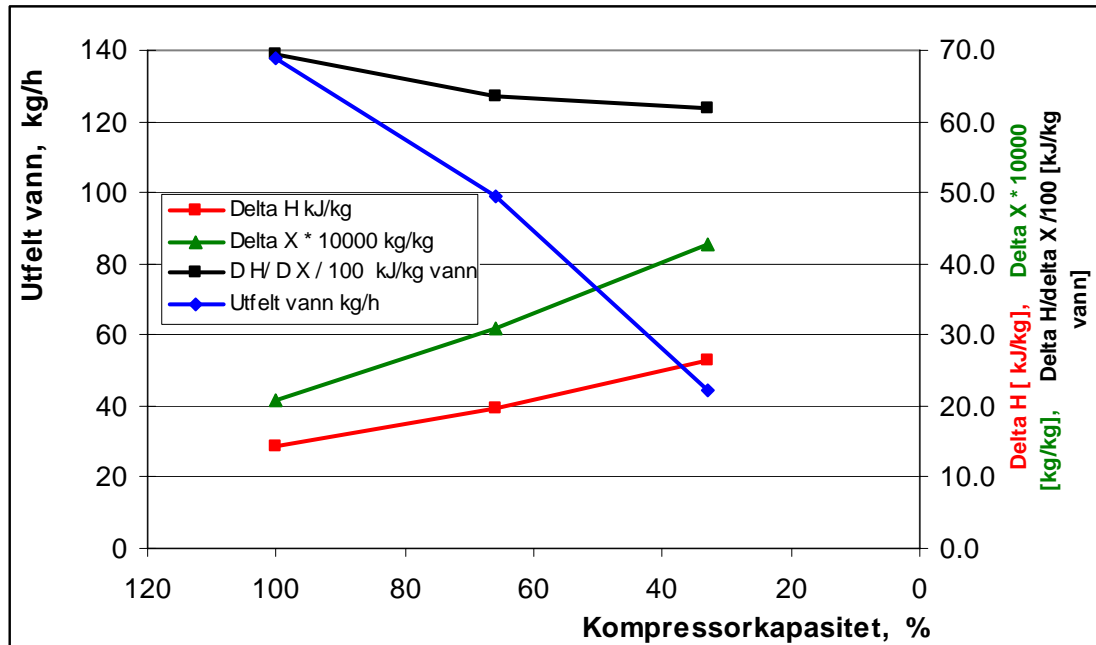
Forutsetningen for at disse reguleringsprinsippene skal gi energieffektive aggregat er at luftmengden samtidig reduseres som tidligere vist. Dette kan eksempelvis oppnås ved at kuldeytelsen styres av ønsket luftfuktighet i tunnel og at aggregatets luftmengde styres ved frekvensregulering av viftenes turtall avhengig av fordampertemperaturen, slik at høy  $(dh/dx)_{\text{luft}}$  alltid opprettholdes. For videre energieffektivisering kan trolig tunnelens sirkulerte luftmengde også reduseres samtidig da dette trolig har liten betydning for tørkehastigheten ved oppbygget tørrsjikt på fisken.

### ***Styring av aggregatets avfuktning***

For å undersøke og dokumentere at den foreslåtte styre og reguleringssystem gir svært stort potensial for energisparing er det for den mest gjennommalte tverrblåste tunnel gjennomført en beregning og simulering ved hjelp av dataprogrammet HxSim. Det er her tatt utgangspunkt i de målte verdier for luftmengder gjennom tunnel og aggregat og ytelsesdata for kompressorer fra leverandøren. Teoretisk avvanningskapasitet ved full ytelse ble beregnet til noe over målt verdi ( For å undersøke og dokumentere at den foreslåtte styre og reguleringssystem gir svært stort potensial for energisparing er det for den mest gjennommalte tverrblåste tunnel gjennomført en beregning og simulering ved hjelp av dataprogrammet HxSim. Det er her tatt utgangspunkt i de målte verdier for luftmengder gjennom tunnel og aggregat og ytelsesdata for kompressorer fra leverandøren. Teoretisk avvanningskapasitet ved full ytelse ble beregnet til noe over målt verdi (Figur 2) noe som trolig viser usikkerhet i måling av vannmengde og i beregningen. Videre er lufttemperaturen inn til tunnel, relativ fuktighet ut av tunnel, fordampingstemperaturen, holdt konstant ved redusert kompressorytelse. Simuleringsprogrammet tilpasser da luftmengden som gir riktig belastning og vannfjerningskapasitet og resultatene er beregnet for ca. 50 % og 30 % redusert kompressorytelse og framstilt i Figur 5. Legger en målt vannfjerning i tunnelen i perioden etter 1. døgn (Figur 2) på fra 40 til 30 kg/time til grunn viser beregning et behov for en kompressorutnyttelse på 30 – 25 %. Avhengig avreguleringssystem som ofte gir noe økte energitap i forhold til full ytelse vil en trolig få en energisparing på opp i mot 35 % samtidig som energi til vifter reduseres noe.

Ved at en styrer anlegget slik at fuktigheten i tunnelen opprettholdes holdes høy og også litt økende på grunn av at ved lavere ytelse synker fordampers overflatetemperatur noe. Beregningen viser en verdi på  $dh/dx$  fra ca. 7 000 til ca. 6 300 kJ/kg vann fjernet [ Figur 5 i Ref 1.]. Målingene på tunnelen med kompressorene på full ytelse viste verdier i størrelsesorden 16 000kJ/kg vann fjernet eller ca. 2,6 ganger høyere enn ved å opprettholde høy fuktighet i tunnelen. ***Ut fra de teoretiske beregninger og vurderinger synes det godt mulig å kunne oppnå samme***

*energieffektivitet som for de tverrblåste som for langblåste tunneler ved regulering av kompressorkapasiteten styrt av fordampertemperaturen og luftmengde gjennom aggregat styrt av luftfuktighet i tunnel.*



Figur 5. Beregning og simulering med HxSim av vannfjerning ved aggregatet ved reduksjon av kompressorytelsen og luftmengde gjennom aggregatene for å opprettholde høy fuktighet i tunnelen.

Det er ikke i prosjektet gjennomført detaljerte beregninger og vurderinger av hvilke endringer i aggregatene som må gjøres for å få energieffektive anlegg også på delast. I hovedsak vil investeringene i hovedsak være ombygging av styre- og reguleringsystem med bruk av frekvensregulatorer. I tillegg er styring av kondensatortrykk og varmgassfordeling svært primitivt og bør bygges om for å få et stabilt system. Videre bør trolig de termostatiske ekspansjonsventilene erstattes med moderne elektroniske ventiler som vil bedre styring og gi lavere temperaturforskjeller. Som allerede omtalt flere ganger bør alle vifter benyttes med riktig luftretning og ikke periodisk kjøres med feil retning noe som gir elendig effektivitet for hele tunnelen.

### 3 REHABILITERING – OMBYGGING/NYE ANLEGG

De tverrblåste periodiske ("batch") tunnelene er i dag foretrukket på grunn av den enklere operasjon og drift på tross av at målinger og analyser av disse anlegg viser til dels svært høyt energiforbruk. Som vist i Kap. 2.2.2 kan en få betydelig reduksjon av energiforbruket ved å redusere ytelsen av aggregat og luftstrøm. Dette har imidlertid begrensninger på grunn av anleggstype og utstyr, men dette kan i noen grad gjennomføres med mindre ombygginger og installasjon av frekvensstyring og ytelsesreduksjon av kompressorkapasitet som avhengig av anlegg kan kreve andre ekspansjonsventiler, mv. Dette vil likevel være relativt beskjedne endringer som ikke krever ombygging av systemene.

### **3.1 SENTRALISERT ANLEGG**

De fleste større tørkeanlegg har flere tørker og det er vanlig at disse har egne varmepumper og enkle styresystem. Noe avhengig av anleggenes plassering av tørkene, byggutforming og plass vil en trolig kunne redusere investeringene i anlegg og styresystem ved et felles sentralt løsning for en felles varmepumpe. For eksisterende anlegg kan da tunnelene med fordampere, kondensatorer og vifter kunne brukes med små endringer. Spesielt vil dette være et alternativ for eldre anlegg med driftsmedium (kuldemedium) som må utfases etter forurensingsloven. Hvilke ombygninger som må gjennomføres avhenger av anlegg og valg av nytt medium og må vurderes for hvert anlegg.

Hovedfordelen ved denne type ombygging vil først og fremst være mulighetene for betydelig sparing av energi. Spesielt den store variasjon i avvanning og derved krav til kuldeytelse for fordampene en får ved oppfylling av tunnelene med våt fisk og nedtørking av hele partiet vil lettere kunne ballanseres ved felles kompressorløsning. Her vil en lett kunne få en jevnere belastning ved at anleggene fylles opp og startes tidsforskjøvet i en naturlig arbeidsgang ved pålegging på brett/vogner og innsetting. Erfaringsmessig vil styring av fordampertemperaturen ved en større kompressorpark og mange belastningssteder med varierende behov gi enklere og mer energioptimal styring. Samtidig vil en normalt ha et sikrere system hvor eksempelvis feil ved en maskin enklere kunne dekkes av andre kompressorer.

En annen fordel er at med et felles system normalt vil alltid ha overskudd av varme på grunn av kompressorenergien. I motsetning til ved anlegg ved hver tunnel som ed oppstart/innlegging av kald fisk trenger lang tid for å øke temperaturen vil overskuddvarme fra de andre tunneler kunne gi rask temperaturstigning og raskere tørking.

Ved sentrale anlegg vil en letter få energioptimal styring av temperaturen på fordampene som vil bidra til gunstig  $dh/dx$ . Som for styring av kuldesystemene for de enkelte tunneler må imidlertid fuktigheten styres av luftmengden gjennom fordampene. Dette krever et styresystem for hver tunnel som reduserer luftmengden gjennom aggregatene og derved avfuktingen. Tilsvarende som for disse er også tørkedata fra pågående målinger at luftmengder og fuktighet har liten effekt på tørkehastigheten. Videre målinger og vurderinger av nye tørkeløsninger vil derfor være svært viktig for valg av løsninger framover.

### **3.2 SENTRALISERT ANLEGG MED SEKUNDÆRMEDIUM (INDIREKTE KJØLING – OPPVARMING)**

Med sentralisert anlegg menes et kompakt kuldeanlegg/varmepumpe med kjøling av en lake i fordampere og oppvarming av lake i kondensator. Kald lake sirkuleres til luftkjølerne og varm til varmebatterier og det benyttes væskemagasin både for kald og varm lake for å få stabil drift. Laken kan enkelt sirkuleres til de steder hvor en har behov for kjøling eller oppvarming og væskeføring og styring av væskestrømmene. Rørene kan i hovedsak føres etter forholdene på anleggene fordi en får en stor frihet ved trasévalg fordi rørene kan gå opp eller ned med fall eller motfall. Til lake vil i dag glycol som er lite miljøskadelig være mest aktuelle og kuldemediemengde er lav og begrenset til maskinrom. Kuldeanlegget kan bygges kompakt, med redusert risiko for lekkasje av kuldemedium og dette gir større frihet i valg av kuldemedium med hensyn tilgiftighet og brennbarhet. Mindre kuldemediefylling kan være av betydning ved høy kuldemediepris.



Bruk av indirekte systemer har også ulemper som flere pumper og pumpearbeid på grunn av at kulde- og varmebæreren må pumpes rundt i anlegget. I tillegg får en to ekstra temperaturtap mellom fordamper – lake og kondensator – lake, men med dagens effektive og svært kompakte varmevekslere væske – kuldemedium er temperaturtapene små. I tillegg gir de vanlig brukte ekspansjonsventiler og kondensatorsystem store temperaturforskjeller og dette blir lavere ved indirekte system. På grunn av pumpearbeid og ekstra varmeoverganger vil en teoretisk kunne få økede energikostnader i anlegget. I praksis viser det seg imidlertid at dette ofte gir betydelig reduserte energikostnader noe som både skyldes energieffektive anlegg og styresystem ved dellast og effektive varmevekslere.

#### **4 KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER**

Tilgjengelig målinger på tørker fra 1978 -82 og på to langblåste og to tverrblåste tørker i dette prosjektet er gjennomgått og vurdert med hensyn på effektivitet og forbedringsmuligheter. Et hovedproblem har vært å måle vannmengden fjernet fra fiskene som var usikkert for flere av tunnelene. Målingene viser betydelige forskjeller mellom tunnelene og henger sammen med anleggsstørrelser og driftsforhold. Også fiskestørrelsen vil påvirke energibruken siden tørketiden vil variere med fiskeslag og størrelse, spesielt gjelder dette ”tverrblåste” tunneler hvor jo større fisken er jo lengre drift med lav tørkehastighet. De fleste målingene er gjort med relativ liten fisk og tørketid i tverrblåste tunneler på ca. 3 døgn. Målingene viser:

*Langblåste tunneler: 0,16 – 0,19 kWh/kg klippfisk*

*Langblåste tunneler: 0,40 – 0.58 kWh/kg klippfisk*

*For begge tunneltyper øker energibruken med installert ytelse pr. kg råvare i tunnelene, men samtidig øker selvsagt produksjonen. En økonomisk optimal anleggsstørrelse må derfor fremkomme etter en beregning av investering, driftskostnader og energiforbruk. Det synes imidlertid klart at de tverrblåste tunneler har et energiforbruk som er 2 – 3 ganger så høyt som langblåste tunneler med dagens oppbygging og styring/drift av anleggene. Spesielt de tverrblåste tunneler har store forskjeller mellom anlegg noe som synes å være knyttet spesielt til installert ytelse for anleggene (se Tabell 2. side 3).*

##### **Langblåste tunneler**

Med utgangspunkt i målingene er det under forutsetning av inngående lufttemperatur på 23 °C og fuktighet ut av tunnelen på 65 % gjennomført en beregning som viser et anslått energiforbruk vil være ca. 0,164 kWh/kg tørrfisk. En følsomhetsanalyse viser at om en reduserer anleggets ytelse med 10 % med samme temperatur og fuktighet vil energiforbruket reduseres med ca. 13 % og kapasiteten med ca. 6 %. Om tunnelen er bygget/drevet noe feil slik at luftfuktigheten bare er ca. 60 % øker energiforbruket ca. 8,5 % eller til 0,178 kWh/kg klippfisk.

*Langblåste tunneler har etter målinger og beregninger generelt lavt energiforbruk pr. kg fjernet vann eller pr. kg klippfisk og viser at energiforbruket er relativt lite avhengig av at kuldeytelsen eller varmepumpesystemet har optimal størrelse og oppfukning av lufta er noe lav.*

### ***Tverrblåste tunneler***

Ved dagens tverrblåste tunneler fjernes vanndampen ved at en grenstrøm fra tørka går gjennom et eller flere avfuktingsaggregat og den tørre og varme lufta fra disse blandes med omlufta til ønsket temperatur. Aggregatene har ingen ytelsesregulering eller regulering av luftstrøm og med innlegging av all fisk samtidig vil tørkingen og dannelse av tørrsjikt utvikles likt og gi raskt avtagende vanndampstrøm fra varen. Når vannstrømmen fra varene blir lavere enn vannmengden aggregatene fjerner vil uten annen styring regulere seg selv ved at luftfuktigheten avtar. Denne endring gjør at selv om lufta kjøles like mye vil vannmengden som fjernes reduseres sterkt inntil balanse med tørkehastigheten oppstår. Lufta kjøles like mye uten mens en får ut lite vann og energikostnaden stiger. ***Skal en få energiøkonomisk tørking i de tverrblåste tørker med periodisk oppfylling må derfor anleggene styres slik at en får høyere fuktighet under hele tørkeperioden. En mente tidligere at høyere luftfuktighet i denne fase av tørkingen gav noe lavere tørkehastighet og øket tørketid, nye målinger høsten 2007 viser at dette har ingen/liten effekt. (Behov for videre FoU innen tørkehastighet)***

Resultatene fra pågående betyr, sammen med det faktum at tverrblåste tunneler har minimal forskjeller i luftfuktighet i tunnelene, at ”snuing” av vifter har ingen effekt. ***Viftene må derfor drives med riktig dreieretning, fortrinnsvis også skiftes til mer effektive typer. Lufthastigheten bør reduseres når en får et tørrsjikt som reduserer vanntransporten på fiskeoverflaten (tørkeforsøk som bekrefter dette planlegges.)***

Aggregatene består av en tilpasset fordamper, kondensator, kompressor samt vifter og hvor komponentene er tilpasset hverandre. Kuldebehovet er bestemt av luftmengde/-hastighet, lufttilstand inn på fordamper, fordampertemperatur og varmeovergang luft- fordamper. Dessuten er varmeovergangen avhengig av lufthastigheten [ $\alpha = f(V_{\text{luft}})$ ] i ikke lineært forhold. ***Energieffektiv regulering av aggregatene vil derfor kreve en styring av luftstrømmen gjennom fordamperen samtidig som kuldeytelsen reduseres. For å opprettholde høyest mulig  $(dh/dx)_{\text{luft}}$  må kuldeytelse og luftmengde styres slik at fordamperoverflaten har lavest mulig temperatur uten at frysing av kondensat oppstår.***

De fleste tverrblåste tunneler som finnes har ingen/brukes ikke regulering av aggregatenes ytelse. Ifølge en leverandør kan ytelsen reguleres ved at anleggene startes – stoppes, dette er teknisk primitivt og ofte uheldig. Kompressorenes ytelser kan i dag relativt enkelt styres ved trinnløs hastighetsregulering og/eller trinnsvis ytelsesregulering. Samtidig må imidlertid luftmengden gjennom aggregat tilpasses ytelsen ved regulering av viftene. Avhengig av anleggsoppbygning bør/må også andre mindre endringer gjennomføres. ***Betydelige reduksjoner av energiforbruk kan oppnås til en rimelig kostnad og det anbefales sterkt at bedriftene investeres i slike tiltak hvor kostnadene innspareres ved spart energi på kort tid.***

Rehabilitering eller ombygging, nye anlegg mv. anbefales at en vurderer hele den tekniske løsning, spesielt om en av driftsmessige forhold velger tverrblåste tunneler. Som nevnt viser målinger nå nettopp at tørkingen er betydelig mindre avhengig av luftfuktighet enn det en tidligere har regnet med. Målte tørkehastigheter for både stor og liten torsk og sei viser raskt fall i tørkehastighet 1. døgn. Videre tørking går langsomt og hastigheten viser seg så langt i undersøkelsene å påvirkes lite av temperatur, luftfuktighet og lufthastighet over fisken. Videre

forskning og utvikling vil være viktig for å øke kunnskapen om disse forhold. Konsekvensen av disse resultatene vil kunne gi muligheter for betydelige endringer av tørkeprosessen og også bety betydelige reduksjoner i energikostnadene.

## **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: SINTEF-rapport: TRF6482 Sammenligning av langblåste og tverrblåste klippfisktørker. 2000
- 8: Alvestad, Ståle: Hovedoppgave. NTNU 2007
- 9: Aflekt, Kåre og Magnussen, Ola M. ; Kontroll av luftfuktighet i klippfisktørker ved regulering av aggregatet. Notat, SINTEF Energiforskning, Energiprosesser, 2007-12-05.

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

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