

■ [www.energy.sintef.no](http://www.energy.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)

**Styringsstrategi for tverrblåst batchtørke for klippfisk**

SAKSBEARBEIDER(E)

Ola Jonassen og Per Magne Walde

OPPDRAKSGIVER(E)

FHL Bacalaoforum

\*

TR NR.	DATO	OPPDRAKSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TRF6363 *	2006-04-20	Arnt Olav Aarseth	16X543.01
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING
060420151152		Anders Haugland <i>Kona J. M. Mørseth</i>	Fortrolig
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG SIDER
82-594-3077-0		Anders Haugland <i>Kona J. M. Mørseth</i>	8
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Energiprosesser	Kolbjørn Heies vei 1D	73593950	

## RESULTAT (sammendrag)

I rapporten er det gjennomgått i hvilke stadier tørkingen av klippfisk foregår, og hvordan tørkens innstillinger kan tilpasses for en kvalitets- og energioptimal drift av tørketunnelen.

Resultater fra laboratorieforsøk viser at brenning av fisken oppstår ved tørketemperatur mellom 26 og 28 °C. Det er ikke funnet noe økning i tørreskorpe som funksjon av tørkehastighet, derimot er det funnet at tørkehastigheten er jevnt økende med reduksjon i luftfuktigheten og økning i lufthastigheten. På bakgrunn av dette gis det i rapporten retningslinjer for mer optimal drift av tverrblåste batchtørker.

Fra tørkeforsøk er det funnet at saltfisk kan tørkes til prima klippfisk helt opp til 26 °C uten brenning og at tørkehastigheten ikke har betydning for skorpedannelse. Derfor konkluderes det med at 23 °C er et konservativt valg av tørketemperatur og at det kan tørkes for fullt opp til 26 °C fra starten også i batchtørker. Mot slutten av tørkingen i batchtørker går fukttransporten i fisken så seint at det er lite å vinne på å opprettholde full effekt på vifter og varmpumpe. Derfor foreslås en reduksjon til 70% av luftsirkulasjon, men med opprettholdelse av konstant luftfuktighet for siste del av tørkingen. Dette omslaget kan styres fra målt luftfuktighet ut fra tørken og 50 – 55 % kan være et førstevalg for denne verdien.

Videre er det gitt noen praktiske opplysninger om måle- og datapresentasjonsutstyr som kan være aktuelle på slike anlegg.

\* Rapporten er åpnet 2008-02-06\*

**STIKKORD**

EGENVALGTE	styring	klippfisk
	overvåking	tørking

## INNHOLDSFORTEGNELSE

		Side
1	INNLEDNING .....	2
2	BLI KJENT MED TUNNELEN .....	3
3	MÅLEUTRUSTNING PÅ TØRKEN .....	4
	3.1 I TØRKETUNNELEN .....	4
	3.2 MÅLINGER PÅ VARMEPUMPEN .....	4
	3.3 DATAINNSAMLING OG -PRESENTASJON .....	4
4	STYRINGSSTRATEGI .....	4
	4.1 FØRSTE TØRKEPERIODE .....	5
	4.2 ANDRE TØRKEPERIODE .....	5
	4.3 TREDJE TØRKEPERIODE .....	5
	4.4 OPPSUMMERING AV STYRINGSSTRATEGIEN .....	5
5	REGULERING AV TØRKETUNNELEN .....	6
6	NYTTIG INFORMASJON .....	6

### 1 INNLEDNING

I tidligere deler av dette prosjektet, ble det utført målinger på 3 klippfisktørker og en av disse er en tverrblåst batchtørke. Dette er beskrevet i SINTEF-rapport TRF 6320 *Energianlegg og luftfordeling i 3 klippfisktørker*. Målingene viste at tørketemperaturen var holdt lav, helt ned i 17 °C, fra start av tørkingen for så å økes gradvis til 23 °C etter omtrent to døgn. Dette er et innstilt forløp av styrt tilluftstemperatur i tørken for å unngå en oppfattet skorpedannelse og påfølgende reduksjon i tørkehastighet. 23 °C er satt som øvre grense i dag for å unngå brenning av fisken. Økning i tørketemperatur med bare noen grader vil gi betydelig økt tørkehastighet og kapasitet på anlegget, samt redusert spesifikt kraftforbruk. Under laboratorieforsøk ved SINTEF Energiforskning ble det funnet mye kortere tørketid ved 26.5 °C (absolutt høyeste mulig tørketemperatur uten registrert brenning) i forhold til 22 °C. Reduksjonen var 49% for torsk og 43.5% for sei.

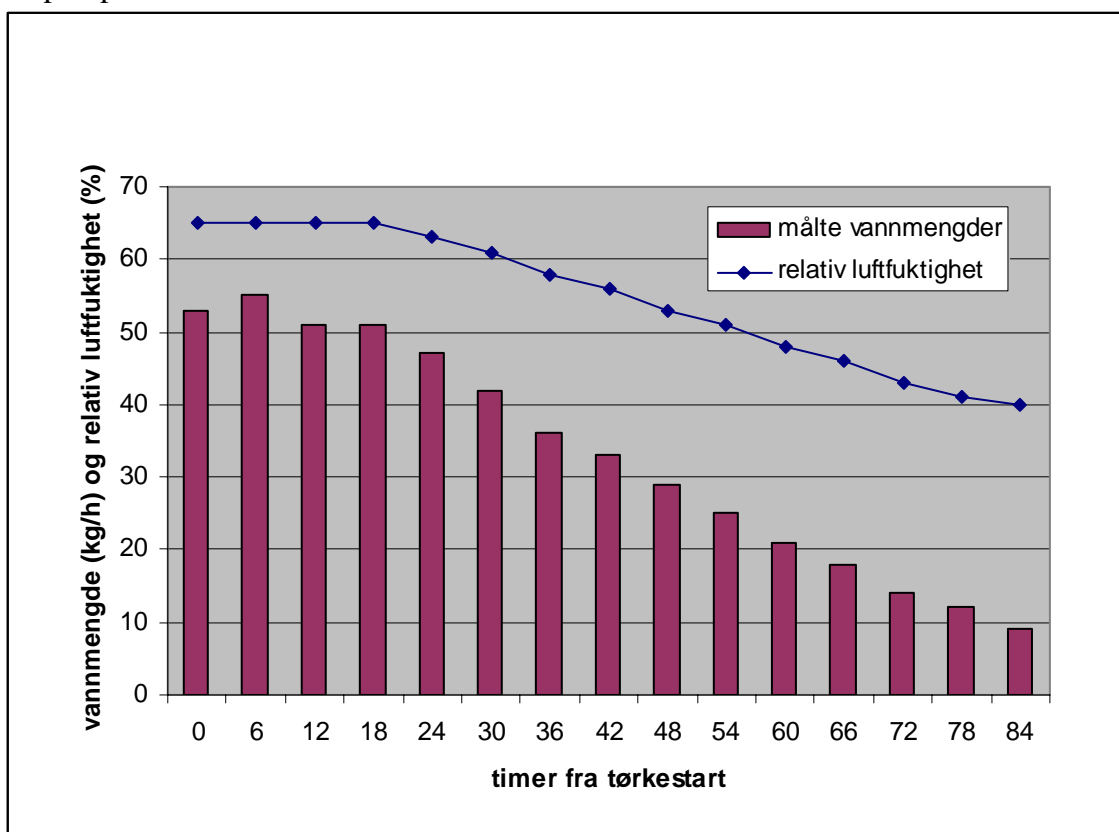
De tørketekniske parametrene som bransjen har vært usikre på (lufttemperatur og –fuktighet og til dels lufthastighet) er nå sjekket ved systematiske forsøk i brettørke i laboratoriet og sammenholdt med kvalitetsvurdering av klippfisken. Forsøkene og resultatene er beskrevet i rapporten *Undersøkelse av brenning og skorpedannelse ved tørking av torsk og sei klippfisk*. Teoretisk sett kan tørketemperaturen stilles høyere i starten når vi har våt overflate, stor fordampning og betydelig evaporativ kjøling av fiskens overflate. Men dette er ikke undersøkt i nødvendig stor skala i forsøk, og det er lett å tenke seg at små fisk går tørr i overflaten før stor fisk og deler av hver fisk går tørr til ulike tider. Det vil derfor kanskje bli praktiske problemer knyttet til en slik oppjustering av tørketemperaturen i den første delen av tørkeforløpet.

Bransjen har lenge brukt 23 °C som en nominell, maksimal tørketemperatur. Når det nå er påvist at hele tørkeforløpet kan gjøres ved 26 °C sees ingen rasjonell grunn til at tørkene skal innstilles med redusert temperatur fra starten eller i noen del av tørkingen i batchtørker. Det er derimot mulig å øke anleggenes kapasitet ved å justere temperaturen opp mot øvre grense

26 °C. Hvor nært 26 °C man vil stille inn ønsket temperatur vil være opp til den enkelte anleggseier og vil sikkert variere fra tørke til tørke. Det vil kreves bedre styring av temperaturen jo nærmere grensen man ønsker å operere.

## 2 BLI KJENT MED TUNNELEN

Det er av betydning å kjenne funksjonen til hver enkelt tunnel. En måling som enkelt kan gjøres på de fleste tunneler, er å registrere utkondensert vannmengde til en del tidspunkter jevnt fordelt over tørkeforløpet. Hvis det for eksempel samles opp vann i en 20-30 min periode kan dette omregnes til vannmengde i kg/h. Det må samles opp nok vann til at målingen blir tilstrekkelig pålitelig, og ikke mer enn hva som er praktisk på stedet. Om dette gjøres for eksempel 4 eller 6 ganger pr døgn i løpet av tørkeperioden, kan det tegnes opp en tørkekurve for tunnelen. Strengt tatt er denne kurven kun riktig når det tørkes fisk av samme art og størrelse som når målingene ble gjort, likeså er kurven bare gyldig ved den anvendte lufthastigheten. Hvis man også har en luftfuktighetsmåler på hver side av tunnelen, kan man lese av den måleren som sitter i den oppfuktede luften til de samme tidspunktene som vannmengden måles. Luftfuktighetene kan tegnes inn i samme diagram som vannmengdemålingene. Etersom tørkingen går framover vil tørkeluften bli tørrere og de målte vannmengdene mindre. Dette kan brukes til å finne verdier fra luftfuktighetsmåleren som viser hvor langt tørkeforløpet er kommet. Dette er en god hjelp for å bestemme hvilke verdier fra luftfuktighetsmåleren som skal danne grenseverdier for styringen av vifter og varmepumpe.



Figur 1. Eksempel på karakteristikk for batch tørketunnel for klippfisk. Denne karakteristikken kan være aktuell for dagens drift av batchtørker, med begrensning i tørkekapasitet i startfasen.

### **3 MÅLEUTRUSTNING PÅ TØRKEN**

Her listes opp en del måleutrustning som har vist seg å være nyttig når det skal undersøkes om en tørke fungerer optimalt, som forutsatt eller som ønsket.

Det er oppfølging av lufttilstand med temperatur og fuktighet på tørkeluften oppstrøms og nedstrøms av tunnelen som har førsteprioritet. De andre målepunktene kan velges installert eller utelatt alt etter hvor godt man ønsker å følge med driften av anlegget.

#### **3.1 I TØRKETUNNELEN**

Disse målepunktene har vist seg nyttige i arbeid med klippfisktunneler:

- Temperatur tørkeluft foran tunnel
- Relativ luftfuktighet foran tunnel
- Temperatur tørkeluft etter tunnel
- Relativ luftfuktighet etter tunnel
- Effekt tilført tunnelvifter
- Lufthastighetsmåling. Denne vil bare gi en indikasjon fordi måleverdien varierer med plasseringen av føleren i tunnelen. Den vil allikevel gi en indikasjon på om luftmengden endres over tid (tilsmussing av varmevekslerflater m.v.)
- Utkondensert vannmengde: hvis det finnes rimelig utstyr på markedet for å måle små vannstrømmer (mellom ca 20 og 60 kg/h) kunne en slik monteres på dreneringsledningen fra fordamperne. Dette forutsetter at fordamperoverflater og dryppanner holdes rene, ellers vil vannmåleren gå tett av slam. Med en slik måling kan man lett følge med direkte på tørkehastigheten, hvordan denne varierer over tørkeforløpet, med størrelse på fisken, med varmpumpedriften, lufthastigheten og eventuelt også med luftretningen og akkumulert verdi for målingen tilsvarer antall kg vann som er fjernet fra partiet.

#### **3.2 MÅLINGER PÅ VARMEPUMPEN**

For å kunne overvåke driften av varmpumpen er det nyttig å kjenne til disse tilstandene:

- Temperaturer: væske fra kondensator, sugegass og trykk-gass på kompressor. Sugegass og væske fra kondensator kan måles på begge aggregatene, hvis det er flere sett varmevekslere.
- Elektrisk utrustning: Måling av effekt tilført kompressormotor
- Annet: Måling av høytrykk og lavtrykk. Dette medfører installasjon av trykkceller, disse koster litt og trykkmålingene kan utelates for å gjøre instrumenteringen enklere.

#### **3.3 DATAINNSAMLING OG -PRESENTASJON**

I tillegg til styringsfunksjon vil det være verdifullt å kunne følge tørkeforløpet med trendkurver og å kunne ta utskrift av valgte verdier for hver tørkebatch. Datainnsamling kan gjøres med en datalogger eller en PC med målekort. Datapresentasjon kan også gjøres med datalogger, men mest fleksibelt system vil man få med en PC. Det er ganske korrosivt miljø ved klippfisktørkene, og derfor bør det brukes solid utstyr som industri-PC eller panel-PC. Det er også mulig å kombinere regulering av lufttemperaturen med datapresentasjon i en PLS. Alt dette utstyret kan kjøpes ganske rimelig fordi bare er aktuelt med et fåtall målepunkter eller –kanaler.

### **4 STYRINGSSTRATEGI**

Fra generell kunnskap om tørkeprosesser er det funnet nyttig å inndele tørkeforløp i 3 etterfølgende perioder; første, andre og tredje tørkeperiode. Interaksjonen mellom produktet som tørkes og tørkeluften er spesiell for hver av disse periodene. I det følgende gis en gjennomgang av

klippfisktørking i denne sammenhengen og hvordan tørken kan styres i disse tre periodene. 23 °C er angitt som aktuelt setpunkt for regulering av tørkeluftstemperaturen, men denne kan være opp til 26 °C når det er god kontroll med eventuelle lokale temperaturvariasjoner over tørkens tverrsnitt.

#### **4.1 FØRSTE TØRKEPERIODE.**

Stikkord: Mye vann på overflatene som gir høy luftfuktighet i tunnelen. Tørkehastigheten er konstant. Varmepumpen har stort avfuktningspotensiale og den og viftene kan kjøres på 100 % kapasitet.

- Vifter og varmpumpe 100 % kapasitet
- Luftretning snues hver 4. time
- Konstant lufttemperatur 24 til 25 °C.

#### **4.2 ANDRE TØRKEPERIODE**

Stikkord: Overflatene er delvis tørre, tørkehastigheten synker. Hvis det foretas en måling av tørkehastighet (utkondensert vann) kan en observere et knekkpunkt ved overgang fra 1. til 2. tørkeperiode fordi tørkehastigheten reduseres.

- Vifter og varmpumpe 100 % kapasitet
- Luftretning snues hver 4. time
- Lufttemperatur 24 til 25 °C

#### **4.3 TREDJE TØRKEPERIODE**

Stikkord: overflatene er tørre. Betydelig redusert tørkehastighet. Størstedelen av tørkemotstand ligger i fukttransport i fisken, ut til overflaten. Vifter og varmpumpe kan kjøres med redusert kapasitet uten at tørkehastigheten påvirkes mye.

- Vi skifter til 3. tørkeperiode når fuktinnholdet i tørkeluften faller under en gitt verdi, f.eks 50 - 55 %
- reduksjon av viftekapasitet til for eksempel 70 %, forutsatt at det ikke oppstår dødsoner for luftsirkulasjon
- Reduserer kapasiteten for varmpumpen
- Luftretning snues hver 4. time
- Lufttemperatur +24 til 25 °C

#### **4.4 OPPSUMMERING AV STYRINGSSTRATEGIEN**

Fra tørkeforsøk er det funnet at saltfisk kan tørkes til prima klippfisk opp til 26 °C uten brenning og at tørkehastigheten ikke har betydning for skorpedannelse. Derfor konkluderes det med at 24 til 25 °C er fornuftig valgt tørketemperatur og at det kan tørkes for fullt fra starten også i batchtørker.

Bransjen har lenge brukt 23 °C som en nominell, maksimal tørketemperatur. Hvis vi holder oss til denne temperauren har vi en betydelig margin opp til begynnende brenning fra 26-27 °C. Vi har også stor margin i forhold til de deler av fisken som kan ligge mot metall eller treverk på brettene og hvor avdampningen og dermed den evaporative kjølingen er begrenset. Det skal være mulig å bruke 24 til 25 °C som setpunkt på temperaturstyringen (når vi vet at styringen gir små svingninger i temperatur, mindre enn f.eks 0.8 °C totalt; dvs +/- 0.4 °C) og at vi fortsatt skal være trygge på at det ikke oppstår problemer med brent fisk. Vi får dermed betydelig økt kapasitet og termisk effektivitet på tunnelen. Det sees ingen rasjonell grunn til at vi skal bruke lavere temperatur fra starten av tørkingen i batchtørker.

Desto høyere tørketemperatur som ønskes, desto viktigere er det å gjøre seg kjent med tunnelen og måle temperaturene for luften mange plasser over tunnelverrsnittet. Temperaturføleren som gir signal til regulatoren plasseres der hvor luften er målt til høyest temperatur. Dette gjelder for begge sidene av tunnelen og derfor for drift med luftstrømning i begge retningene. Det er den oppvarmede luften foran tunnelen som brukes til styring av temperatur. Med god temperaturregulering (f. eks. mindre svingning enn omkring 0.4 °C i hver retning) kan man trygt stille opp til ønsket tørkeluftstemperatur 25 °C.

Mot slutten av tørkingen i batchtørker går fukttransporten i fisken så seint at det er lite å vinne på å opprettholde full effekt på vifter og varmpumpe. Derfor foreslås en reduksjon til 70 % av luftsirkulasjon og redusert ytelse for varmpumpen. Dette gjør at luftfuktigheten i tunnelen holdes omtrent konstant. Dette omslaget kan styres fra målt luftfuktighet ut fra tørken og 50 – 55 % kan være et førstevalg for denne verdien. Når luftsirkulasjonen reduseres, er det energibesparende å samtidig redusere ytelse på varmpumpen, og denne bør også være sikret mot å operere på så lave sugegasstemperaturer at fordampere rimer.

## **5 REGULERING AV TØRKETUNNELEN**

Behovet til regulering begrenser seg til å holde stabil temperatur på tørkeluften. I en varmpumpetørke kan dette helst være styring av 3-veisventilen for varmgass. Denne reguleringen bør være stabil og nøyaktig.

Videre kan det med fordel legges inn en styring av viftekapasitet slik at når fuktigheten i tørkeluften kommer under et gitt nivå, for eksempel 50 %, så reduseres viftekapasiteten til for eksempel 70 %. Dette gjelder siste del av tørkeforløpet og gjøres enklest ved bruk av frekvensomformere for viftene.

I siste del av tørkeforløpet ligger begrensningen av tørkekapasitet mest i fukttransport inne i fiskekjøttet, og derfor kan også varmpumpens ytelse reduseres uten særlig reduksjon i tørkekapasitet. I praksis kan dette gjøres samtidig med at viftekapasiteten reduseres. Det kan gjøres ved intervalldrift av kompressoren men kapasitetsregulering er langt bedre. Hvis anlegget har en 6-sylinder kompressor kan 2 sylindere kobles ut og maskinen opererer på 67 % ytelse. Frekvensstyring av kompressoren er ennå ikke prismessig aktuelt. Styring av innkoplet kompressorkapasitet kan gjøres ut fra målt temperatur på luften etter fordampere eller ut fra kompressorens sugetrykk.

## **6 NYTTIG INFORMASJON**

Et alternativ er å bruke industri-PC, som er lukket = embedded. Disse leveres ikke med målekort. De har små dimensjoner ("skoese"). Vanlig industri-PC er laget for rack-montasje og de leveres som regel med Windows XP Embedded.

Et annet alternativ er å bruke panel-PC med flatskjerm som også brukes som touch-tastatur. Disse er lukket og sirkulerer ikke romluften gjennom apparatet for kjøling. En panel-PC koster NOK 5-10.000 og kan leveres med nettverkskommunikasjon mot datainnhentingsmodul.

Datainnsamlingsmodul = boks for tilkobling av termoelementer, 4-20mA-signaler m.v. leveres fra ca NOK 2-3.000 (8 kanaler), de leveres med PC-program som gjør PC'en i stand til å kommunisere med datainnsamleren, sette opp kanalene, sette opp loggeintervaller, lagre loggedata på PC og å presentere data grafisk.

Et alternativ til PC er PLS. Små PLS'er med bare 5-10 innganger/utganger koster fra NOK 5-6.000. I en PLS kan regulatorfunksjon for 3-veisventilen til styring av dumpingsvarme og tørkelufttemperaturen integreres. Dette er ikke praktisk å integrere i PC. For å få brukbar funksjon på datapresentasjon må en også ha et operatørpanel. Det er flere elektrofirma som har erfaring med å sette opp et system med PLS enn med PC. Men det er kanskje ikke så mange som har erfaring i datapresentasjon fra PLS.

Frekvensomformere til styring av tunnelvifter koster fra ca NOK 2.000. Disse har mulighet for å bli styrt fra relér.

En nettsadresse til firma (av flere/mange) som har dette utstyret: [www.kgs.no](http://www.kgs.no)



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

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