

www.sintef.no



**SINTEF**

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Fremtidens klippfiskbedrift
Sluttrapport**

SAKSBEARBEIDER(E)

Ola M. Magnussen og Per Magne Walde

OPPDRAKSGIVER(E)

FHL Bacalaoforum

TR NR. * TR F6629 *	DATO 2008-01-10	OPPDRAKSGIVER(E)S REF. Finn-Arne Egeness	PROSJEKTNR. 16X543
EL. ARKIVKODE	RAPPORTTYPE Fortrolig	PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.) Ola M. Magnussen	GRADERING Fortrolig
ISBN NR.		FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.) Inge R. Gran	OPPLAG SIDER 12
AVDELING Energiprosesser	BESØKSADRESSE Kolbjørn Hejes vei 1d	LOKAL TELEFAKS 73 59 39 50	

RESULTAT (sammendrag)

Omfattende målinger er utført ved 4 industrielle klippfiskanlegg og det er gitt forslag om endringer og forbedringer av anleggene. Tre hovedutfordringer ble registrert: 1: Store forskjeller i luftmengder og betydelige luftmengder utenom fisken og energitap ("falskluft"). "Snuing" av vifter i "tverrblåste" tunneler har negativt resultat. 2: Energianleggene har ingen eller dårlig regulering av ytelsen og energiforbruk pr. kg klippfisk er målt til: **Langblåste tunneler: 0,16 og 0,19 kWh/kg klippfisk** og **Tverrblåste tunneler: 0,40 og 0,58 kWh/kg klippfisk**. 3: Klippfisken ut fra tunnelene har stor variasjon i tørrhetsgrad og det er behov for bedre kunnskap om tørkehastigheter avhengig av: Fiskeslag, størrelse/vekt, flekking/skjæring, lufttilstand og -hastighet, mv.

Måling av tørkehastigheter avhengig av fiskeslag, størrelse, tørketemperatur/luftfuktighet, lufthastighet, pause i tørkinga, mv. har gitt ny og svært viktig kunnskap. Målt tørkehastighet avhengig av fuktighet i lufta viser at vanlig tørketeori ikke kan være riktig for klippfisketørking. **Etter ca. ett døgn tørking hadde luftfuktigheten liten påvirkning på tørkehastigheten og viser at andre forhold som vanntransport inne i våt fisk, salttransport og saltoppbygging i tørkeområdet, mv. har stor betydning. Betydelige økonomiske gevinster kan oppnås ved å endre anlegg og tørkerutinene med lav lufthastighet og høyere luftfuktighet etter innledede overflatetørking.** Det er klar forskjell i tørkehastighet mellom torsk og sei og avhengighet av størrelse. Det er stor spredning av hastigheten mellom fisker med lik vekt/lengde som må skyldes flekkinga (mengde bein, snittform, skjæredybde, mv.), salting/press, saltmodning, mv.

Prosjektet har gitt en betydelig mengde ny kunnskap om dagens industrianlegg, tørkemetoder, anlegg, energianlegg og -bruk, mv. SINTEF foreslår at aktiviteten videreføres med fokus på følgende områder: * Reduksjon av energiforbruk: **Energisparing på 50 til 75 % vil være mulig ved ombygging og endret drift.** * Tørkehastighet: Ut fra råstoff, og tunneldata bestemme kjøreplan som gir økonomisk drift (energi, kapasitet, mv.) * Tørkeegenskaper: Endringer som reduserer tørketid og gir jevnere tørrhet ut av tørker. * Lagring av klippfisk: Kontrollert ettertørking på rom tilpasset reoler og system for fjerning av vann.

* Rapporten er åpnet 2008-02-06*

STIKKORD

EGENVALGTE	Klippfisk	Tørking
	Tørkehastighet	Energibruk

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 BAKGRUNN	3
2 MÅL OG AKTIVITETER	3
3 RAPPORTER OG RESULTATER.....	4
<i>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.</i>	9
4 PUBLISERING OG INFORMASJON	10
5 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER.....	11

1 BAKGRUNN

Klippfisktørking har gjennomgått store endringer siden historisk tid og tørketeknologien som benyttes i dag ble utviklet rundt 1980. Den varmepumpebaserte klippfisktørken framstår i dag som en energiøkonomisk og klima -uavhengig tørkeprosess om anleggene er riktig bygget, teknologisk riktig dimensjonert og drivet. I de senere år er det av flere årsaker bygget enklere anlegg med innsetting av alle varer samtidig og fremtørking uten uttak/innsetting av varer. Det har ikke vært gjennomført målinger som viser disse tunnelenes effektivitet og det synes behov for ny gjennomgang og vurdering av tørkeanleggene.

Tørkeprosessen er imidlertid fortsatt arbeidskrevende og dessuten unøyaktig med hensyn til å gi jevn og riktig tørrhetsgrad for hele produktmengden. Økende energikostnader gjør det også viktig å gjennomgå mulighetene for energisparing. Sterk internasjonal konkurranse og skjerpede markedskrav gjør det også nødvendig å forbedre prosessen ytterligere, og prosjektet har søkt å oppnå dette.

Næringen ønsket å oppnå bedre styring av tørkeprosessen og også en størst mulig grad av automasjon og mekanisering. Siktemålet er både å øke kundetilfredsheten gjennom jevnere og mer pålitelig tørrhetsgrad – og å redusere kostnader gjennom lønnskostnader og overvekt pga. ujevn tørrhetsgrad. Energiforbruk vil også medvirke i det totale kostnadsbildet.

På grunn av øket internasjonal konkurranse og skjerpede markedskrav var det nødvendig å forbedre tørkeprosessen, utstyr og drift ytterligere. Ved oppstart våren 2005 hadde prosjektet følgende målsetning:

2 MÅL OG AKTIVITETER

Prosjektet søkte å oppnå:

1. Styrt tørrhetsgrad, verken for mye eller for lite restfuktighet (normalt nært, men ikke over 47 % som er akseptgrensen i de nye portugisiske krav)
2. Unngå kvalitetstap i tørken (brenning, oppkrølling,)
3. Redusert bemanningsbehov
4. Automatisert drift, særlig i helger
5. Reduksjon av total kostnader

Prosjektet var inndelt i 3 faser, som følger:

Fase 1: Tilstandsanalyse og status

Fase 2: Modifisering av eksisterende og utvikling av nye tørkesystemer med sikte på redusert variasjon og bemanningsbehov.

Fase 3 Pilotfase

Funn og resultat fra en fase skulle danne grunnlag for den endelige utforming av neste fase. Dette er også gjennomført ved at en for hvert år har utarbeidet reviderte forslag ut fra gjennomførte målinger og oppnådde resultater.

Hovedfokuset de to første årene har vært på omfattende målinger ved i alt 4 industrielle klippfiskanlegg og med forslag om endringer og forbedringer av anlegg og drift.

Hovedinnsatsen i 2007 har vært på målinger av tørkehastigheter avhengig av fiskeslag og størrelse og tørketemperatur/luftfuktighet noe som har gitt ny og svært viktig kunnskap for å forbedre teknologien og gjøre industrien bedre rustet i den internasjonale konkurranse. Videre har det vært stor fokus på tiltak for å redusere de høye energikostnadene ved ”tverrblåste” tunneler og vist at det er mulig å oppnå betydelig reduksjon i energikostnadene.

3 RAPPORTER OG RESULTATER

Alle aktivitetene i prosjektet er rapportert i Tekniske rapporter hvor alle sentrale målinger og beregninger, analyser og vurderinger, forslag til endringer av tekniske løsninger og drift er gitt. I tillegg er det utarbeidet underlagsmateriale som notater, delrapporter, beregninger, mv. Det er også benyttet flere forskjellige beregnings- og simuleringsprogram i hovedsak tilgjengelige generelle dataprogram som er tilpasset behovet i prosjektet.

Følgende rapporter fra aktivitetene er utarbeidet:

1. **TRF6320 Energianlegg og luftfordeling i 3 klippfisktørker**, datert 2006-02-24
ISBN nr. 82-594-3030-4. Saksbearbeidere: Ola Jonassen og Per Magne Walde.

Sammendrag

Denne rapporten er en del av et 3-årig prosjekt initiert av FHL Bacalaoforum. Den gir resultatene fra målinger og gjennomgang av 3 klippfisktørker sommeren 2005:

- Tørke 1 med langblåst, kontinuerlig tunnel og mekanisert inn- og utmatning av reolene;
- tørke 2 med langblåst kontinuerlig tunnel og tradisjonell løsning for inn- og utmatning og
- tørke 3 med tverrblåst batchtørke.

I denne rapporten gis resultater fra måling av luftfordeling i tunnelene, energibruk til viftene, funksjonalitet og energibruk for varmpumpene og det gis forslag til forbedringer.

Det er registrert store forskjeller mellom anleggene. I et anlegg passerer en stor del av tørkeluften utenfor reolene med fisk, og dette bidrar til høyt energiforbruk og redusert tørkekapasitet. Alle anleggene har betydelig variasjon i lufthastighet forbi reolene; det er variasjoner fra øverst til nederst på samme reol og det varierer mye fra reoler på en side av tunnelen til den andre siden. Dette bidrar til ujevn tørking og økt behov for å sortere ut slakkfisk som igjen må ettertørkes (ekstra håndtering). 2 av anleggene har varmpumpe med R-22, og dette er et medium under utfasing, og det blir etter hvert vanskelig å opprettholde drift. Varmefaktoren for energianlegget varierer fra 4.6 for det beste anlegget til 3.12 for det minst effektive. Det tverrblåste anlegget har spesielt liten tørkekapasitet og høyt energibehov mot slutten av tørkeperioden. Dessuten er dette anlegget lite optimalt utført med tanke på regulering av ytelse, innretning av vifter mm.

Det er sannsynliggjort at det kan spares betydelig med energi på alle anleggene og at luftstrømningsforholdene kan endres for å oppnå jevnere tørking. På anleggene 1 og 3 er det også mulig å øke kapasiteten.

2. **TR F6363 Styringsstrategi for tverrblåst batchtørke for klippfisk**. Datert: 2006-04-20
ISBN nr. 82-594-3077-0. Saksbearbeidere: Ola Jonassen og Per Magne Walde.

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 varmepumpe. 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.

3. **TRF6372 Simuleringer av strømningsforhold i to klippfisk tunneler** Datert 2006-06-22, ISBN nr. 82-594-3086-X. Saksbearbeidere: Vidar Hardarson, Ola Jonassen og Per Magne Walde.

Sammendrag

To tørketunneler, en langblåst og en tverrblåst, er beskrevet i simuleringprogrammet Fluent og luftstrømmene er simulert. Resultatene er sammenlignet med målinger på anleggene. Simuleringene påviser betydelig bypass av luft forbi reolene i den langblåste tørken med 47 % av tørkeluften på utsiden av første reolrekke og 54 % i siste reolrekke. Dette er luftsirkulasjon som ikke bidrar til tørking av fisken men den koster energi til både vifter og varmepumpedrift. I den tverrblåste tunnelen ble det påvist betydelig skjevfordeling i luftstrøm mellom brettene. I denne tunnelen snues luftstrømmen periodevis. For de to luftretningene viste simuleringen at lufthastigheten mellom brettene med fisk varierte innen 1,0 – 2,2 m/s og 0,2 – 1,5 m/s. Dette fører til ujevne tørkeforhold og både overtørket fisk og slakkfisk i samme tørkeomgang.

Som eksempler på bruk av modellene er det lagt inn noen endringer og effektene av disse er studert. I den langblåste tørken ble ”skjørt” påhengt under hver reol og strømmingstverrsnittet over vognene avstengt i en ende. Dermed ble nesten 100 % av luftesirkulasjonen aktiv i tørkingen og gjennomsnittlig spaltehastighet økte fra omtrent 0,92 til 1,5 m/s. I den tverrblåste tunnelen ble det gjort en simulering hvor 20 % av tørkeluften ble trukket ut av tunnelen for avfuktning og oppvarming og tilbakeført på den andre siden av sirkulasjonsviftene. Denne løsningen er mer fleksibel i forhold til valg av avfukningsmetode og åpner for bruk av sorpsjonsutstyr, kryssvarmeveksler og standard aggregater foruten at reversering av luftstrømmen kan gjøres mer energieffektiv og uten at strømningsforholdene over fiskebrettene endres. Simuleringen viste blant annet at variasjonene i luftstrøm over fiskene ble redusert fra 0.9 til 0.6 m/s.

Andre endringer på tunnelene kan beskrives og simuleres for å studere virkningen, for eksempel kan viftekapasiteten på den tverrblåste tunnelen reduseres for å studere effekten av i siste del av tørkeforløpet, andre utførelser av tørkevognene og bruk av ledeplater for luft.

4. **TRF6383 Undersøkelse av tørking av klippfisk i tre anlegg.** Datert 2006-06-27. ISBN nr. 82-594-3101-7. Saksbearbeidere: Per Magne Walde og Ola Jonassen.

Sammendrag

Det er gjort målinger på tre ulike klippfisktørker:

- En langblåst og kontinuerlig tunnel med hengende 5 x 16 reoler og mekanisk framtrekk samt automatisk avlasting fra brett
- En langblåst og kontinuerlig tunnel med 7 x 22 vogner og ordinært system for trekking av vogner
- En tverrblåst og batchvis tunnel med 3 x 8 vogner med anordning for å snu luftstrømmen

Videre er et nytt måleutstyr for vanninnhold i klipp- og saltfisk prøvd på et stort antall fisk, både torsk og sei. Fra vanninnholdsmålingene av en palle saltmoden og velpresset saltfisk (316 fisk)

er ser vi en spredning fra 51,6 til 55,4 % vann med middelværdi 53,6 og standardavvik 0,55. Måling av den samme mengden fisk (omtrent) etter tørking viste langt større spredning i vanninnhold fra 41,1 til 52,3 % med middelværdi 47,7 % og standardavviket var økt til 1,94. Dette viser at ujevne tørkeforhold gir klippfisk med varierende vanninnhold.

Det er plassert merkede fisk i tørkene, disse er veid før, etter og så langt det var mulig også under tørkingen. Tørkehastigheten for disse fiskene er vist og sammenholdt med plasseringen i tørkene. I rapportene TRF6320 *Energianlegg og luftfordeling i 3 klippfisktørker* TRF 6372 *Simuleringer av strømningsforhold i to klippfisktørker* er det vist hvordan luftstrømmene varierer i tørkene. Disse tallene kan sammenlignes med tørkehastighetene gitt her.

Videre er tørkeforløpet i de tre tørkene simulert i VPFisk og simuleringresultatene er sammenlignet med målinger.

5. **TRF6418 Brenning og skorpedannelse i klippfisk – laboratorieforsøk.** Datert 2006-08-29. ISBN nr. 82-594-3133-5. Saksbearbeidere: Ola Jonassen og Per Magne Walde.

Sammendrag

Det er kjørt 5 tørkeforsøk i laboratoriet med saltmoden torsk og sei. Forsøkene er gjort ved ulike tørketemperaturer. Konklusjonen er at brenning inntreffer i temperaturområdet 26,5 til 27,0 °C og at det ikke var økning i tørreskorpe ved hard tørking.

Torsk er påvist å tørke betydelig raskere enn sei.

Tørketiden kan reduseres ved en økning i temperaturen. Hvis vi ser på tallene fra forsøkene i tabell 1 og sammenligner forsøk 1 ("dagens situasjon" med temperatur 21,9 °C) med forsøk 4 ("høyest tenkelige temperatur uten brenning" 26,5 °C) finner vi en reduksjon i tørketiden for torsk på ca 30 % og for sei ca 44 %. Seiene i forsøk 5 er noe større enn i forsøk 1.

6. **TRF6482 Sammenligning av langblåste og tverrblåste klippfisktørker.** Datert 2007-04-24 ISBN nr. 978-82-594-3199-8. Saksbearbeidere: Ola Jonassen, Magne Walde og Ola M. Magnussen.

Sammendrag

Klippfiskbransjen bruker i dag i hovedsak 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 tørkeluften, 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 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 tunneler ble anslått energiforbruk henholdsvis på ca. 0,190 og 0,159 kWh/kg klippfisk. Ved de tverrblåste og satsvist oppfylte tunneler 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
- Tørketid for produktgrupper
- Kontroll av tørrhetsgrad
- Totalkostnad for tørkingen
- Redusert bemanning

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 nøy kontrollert klimalager kan være en lønnsom løsning.

7. **TR F6610. Labmåling med vakuamtørke i Avvanningslaboratoriet.** Datert 2007-12-13. ISBN nr. 978-82-594-3345-9 . Saksbearbeidere: Per Magne Walde og Ola Jonassen.

Sammendrag

Dette forsøket inngår gjort for å finne ut om tørketiden for klippfisk kan nedkortes i vesentlig grad ved vakuamtørking. Ut fra litteraturdata og enkel modellering ble det i forprosjekt nye tørkesystemer antydnet reduksjon fra 70 til 12 timer for å tørke saltfisk til klippfisk. For å kunne bruke kontinuerlige bandtørker, er det ønskelig med ytterligere reduksjon av tørketiden. Hvorvidt dette er mulig, skal undersøkes i dette forsøket.

Det er skissert tørking ved ulike trykk, 40, 60, 100 og 200 millibar. Mellom 40 og 60 millibar skal effekten av fordampningstørking, dvs. over kokepunktet, testes. Ved 100 og 200 mbar skal effekten av konveksjon, ved viftepåtrykk, testes.

- Kan tørkingen skje så raskt at en bandtørke kan realiseres?
- Hvordan kan en slik tørke evt. bygges?

Liknende tørker tilbys for tre – tørking. Inn – og utmatningssluser er tilgjengelige bl.a. fra vakuum frysetørking av næringsmidler bl.a. kontinuerlig frysetørke fra Convac.

Viftepåtrykk ble funnet å gi merkbar økning i tørkehastigheten.

Det ble funnet at saltfisk kan tørkes på 24 timer ved 40 mbar og 30 – 40 % relativ luftfuktighet. Teoretisk er det beregnet at tørketiden kan bringes ned mot 12 timer ved mer optimal design.

Ytterligere nedkorting kan bare gjøres ved sterkere vakuum kombinert med nøyaktig temperaturstyring av tørkegodset.

8. **TR F6609 Innledende forsøk på tørking av flekt sei, vektklasse 1-2 kg.** Datert 2007-12-13 ISBN nr. 978-82-594-3344-2 . Saksbearbeidere: Astrid Myckland Stevik, Per Egil Gullsvåg og Per Magne Walde

Sammendrag

De innledende tørkeforsøkene på flekt sei i vektklasse 1-2 kg ga mye informasjon om prosessene under tørking og ga også opphav til nye spørsmål om hvilke faktorer som i størst grad påvirker tørkeprosessen.

Forsøkene viste at tørkeprosessen kan deles i to faser, hvorav den innledende korte fasen hvor overflatevannet fordampes er på ca 4 timer, mens neste fase pågår over flere døgn og involverer tørking av vannet i fiskekjøttet. For begge fasene kan en tilnærmet lineær sammenheng ses for vektuttap som funksjon av tid, men stigningstallet i den innledende fasen er mye høyere enn for neste fase.

Fisk som ble påført en pause i tørkeforløpet viste seg å tørke mye raskere i et kort intervall etter pausen, men nådde aldri igjen den samme tørrhetsgraden som fisken som hadde vært kontinuerlig tørket. Fallet i vekt etter tørkingen antas å skyldes utjevning av saltvann mot / i tørrsjiktet under mellomlagringen.

Undersøkelser av potensiell utjevning i vanninnhold mellom fisk med ulik tørrhetsgrad viste liten vektendring for fiskene etter en ukes samlagring. De høyeste registrerte vektendringen var på 1.2%. Selv om samtlige fisker med lavt vanninnhold økte i vekt og samtlige fisker med høyt vanninnhold mistet vekt, var endringene så små at denne typen utjevning, kun basert på diffusjon, neppe kan ha noen verdi for kommersiell produksjon.

Målinger av initielt vanninnhold og vannaktivitet ga reproduerbare resultater, mens tilsvarende målinger under tørkeprosessen var vanskeligere å tolke. Både vanninnhold og vannaktivitet syntes å være svært avhengig av, og varierte mye med, fra hvilket sjikt i fisken målingene ble gjort. Imidlertid var det svært god overensstemmelse mellom målingen av vanninnhold og vannaktivitet.

9. **TR F6628 Tørking og lagring av klippfisk av torsk** Datert 2007-12-16.

Saksbearbeidere: Astrid Myckland Stevik, Per Magne Walde, Ola Magnussen, Per Egil Gullsvåg, Tom Ståle Nordtevd

Sammendrag

I prosjektene "Effektiv energiutnyttelse i fiskeforedlingsindustrien" og "Fremtidens klippfiskbedrift" ble det gjennomført forsøk på tørking og lagring av saltfisk av torsk. Forsøkene hensikt var å studere forskjellene i tørkehastighet ved kontinuerlig tørking opp mot en kombinasjon av tørking i tradisjonell brettørke (ved 20°C/ 30%RH) med påfølgende ettertørking på lager. Ettertørking på lager ble utført ved tilnærmet 20°C/ 30% relativ fuktighet (RH) og 5°C/ 50%RH.

Resultatene fra forsøkene viste at tørkeprosessen fortsatte ved lagring uten luftsirkulasjon, og at fisk som etter to døgn i brettørke (ved 20°C/ 30%RH) ble lagret ved 20°C/ 30%RH, tørket like godt som kontinuerlig tørket fisk. Best tørketid for lagret fisk ble oppnådd ved høy lagertemperatur og lav luftfuktighet. Forsøkene viste også, i samsvar med tidligere studier, at fiskens vekt og startvanninnhold har stor betydning for total tørketid.

Forsøkene viste at som tiltak for energisparing og økt produksjonskapasitet bør kontrollert ettertørking på lager være et godt alternativ i den siste fasen av tørkeprosessen for klippfisk.

t alternativ i den siste fasen av tørkeprosessen for klippfisk.

10. **TR F6624. Aggregatyper og energiutnyttelse.** Datert 2007-11-29. ISBN 978-82-594-3358-9. Saksbearbeider: Ola M. Magnussen

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

Tverrblåste 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 varmepumpesystemet har optimal størrelse og at oppfukning 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 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.**

Ved rehabilitering eller ombygging/nye anlegg anbefales at sentraliserte at indirekte anlegg med kompakte varmepumper med kjøling av en lake i fordamper 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.

4 PUBLISERING OG INFORMASJON

Informasjonen fra prosjektet har hatt hovedvekt på resultat og kunnskapsoverføring til bedriftene gjennom nær kontakt med Bacalao Forum og interesserte bedrifter. Hovedresultatene er derfor informert gjennom rapportene vist ovenfor. Prosjektet ved prosjektleder og sentrale forskere har deltatt på en rekke møter i FFHF, Bacalao Forum og holdt flere orienteringer om resultater og forslag til endringer av anlegg og drift. Videre er følgende foredrag, artikler og publikasjoner holdet:

Presentasjoner for Bacalao Forum:

1. Ola Jonassen: *Luftfordeling og betydning for tørkehastighet*
Per M. Walde: *Fordeling av vanninnhold i saltfisk og klippfisk*
27.09.2005
2. Per M. Walde *Fremtidens klippfiskanlegg*
30.05.2006
3. Ola Jonassen og Per M. Walde: *Fremtidens klippfiskanlegg*
07.11.2006
4. Ola M. Magnussen: Sammenlikning av langsblåste og tverrblåste klippfisktørker
Per M. Walde : Styrte tørkeprosess
21.05.2007
5. Per M. Walde : Hva bestemmer tørkehastigheten ?
Ola M. Magnussen: Klippfisktørking – tunneler og energiutnyttelse.
02.10.2007

Artikler i: Fisk, industri og marked:

1. Per M. Walde: Klippfisktørking - Innovasjon og konkurransekraft.
2005.
2. Ola Jonassen og Per M. Walde: Framtidens klippfiskanlegg.
2006, nr 3
3. Ola M. Magnussen og Per M. Walde: Energiforbruk ved klippfisktørking i tunneler.
2007, nr 4/5

Foredrag

1. Jonassen, Ola og Walde, Per Magne: *Klipfish – today and in the future.*
Nor-Fishing Technology Conference, Trondheim August 7-8 2006.
2. Walde, Per M.: Klipfish drying – energy and operation.
The Seminar of the Dewatering Laboratory at NTNU / SINTEF Energy Research,
Trondheim, October 8th 2007.
3. Magnussen Ola M.: *Klipfish drying and energy consumption.*
The Seminar of the Dewatering Laboratory at NTNU / SINTEF Energy Research,
Trondheim, October 8th 2007.
4. Magnussen, Ola M. og Eikevik, Trygve M.: *Drying technology and use heat pumps.*
Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos
Seminar 31. May 2007.

5 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Hovedinnsatsen i 2005 og -06 var å kartlegge de viktigste anleggstyper i industrien og gjennomføre målinger for å kartlegge den teknologiske standard. Det ble gjennomført omfattende omfattende målinger ved 4 industrielle klippfiskanlegg fordelt på de to hovedtyper anlegg: ”Langblåste” og ”Tverrblåste tunneler”. I rapportene er det gitt forslag om endringer og forbedringer av anleggenes oppbygging og drift. Tre hovedutfordringer ble registrert:

1. Luftsirkulasjon.

Der er registrert store forskjeller i luftmengder som sirkuleres samtidig som betydelige luftmengder strømmer utenom fisken og bare gir energitap (”falskluft”). Forskjellene i sirkulert luftmengde er spesielt stor mellom ”langblåste” og ”tverrblåste” siden en tilsikter tilnærmet like stor lufthastighet over fisken. Det er liten/ingen regulering (reduksjon) av luftmengde i ”tverrblåste” selv om vannopptak i luften avtar med tørkinger noe som gir høyt energiforbruk for vifter og spesielt dårlig energieffektivitet for aggregatene. ”Snuing” av vifter i ”tverrblåste” har ingen hensikt og gir sammen med lite effektive vifter elendig energivirkningsgrad.

2. Energianlegg (varmepumper/kuldeanlegg)

Ingen av anleggene som er undersøkt har regulering av ytelsen og energiforbruk avhengig av avhengig av belastning eller kuldebehov for vannfjerningen. Dette blir spesielt uheldig for ”tverrblåste” hvor vannmengden som skal fjernes avtar sterkt med tørketiden. Det ble åpenbart at en har et stort potensial for energisparing ved denne tunneltype. Energiforbruk pr. kg klippfisk for de to tunneltyper ble målt til:

Langblåste tunneler: 0,16 og 0,19 kWh/kg klippfisk

Tverrblåste tunneler: 0,40 og 0,58 kWh/kg klippfisk

3. Tørkehastighet

Alle målinger av tørka fisk ut fra tunneler viser stor variasjon i tørrhetsgrad/vanninnhold. Delvis skyldes dette variasjoner av luftfuktighet og –hastighet i tunnelene. Imidlertid syntes det klart av selv med fisk ved lik lufttilstand fant en store variasjoner som må skyldes forskjeller i fiskenes tørkehastighet. Med de store kostnader knyttet til vekttap ved overtørking og kostnadene ved omtørking av før våt fisk er det behov for bedre kunnskap om tørkehastigheter avhengig av: Fiskeslag, størrelse/vekt, flekking/skjæring, lufttilstand og –hastighet, mv.

Hovedinnsatsen i 2007 har vært på målinger av tørkehastigheter avhengig av fiskeslag, størrelse, tørketemperatur/luftfuktighet, lufthastighet, pause i tørkinga, mv. og som har gitt ny og svært viktig kunnskap. ***Målingene viser en klar forskjell i tørkehastighet mellom torsk og sei og avhengighet av fiskestørrelse. Imidlertid er det stor spredning av hastigheten mellom fisker med lik vekt eller lengde som derfor må skyldes flekkinga (beinmengde, snittform og skjæredybde). Vedre sortering av fisk etter vekt/størrelse før tørking vil åpenbart redusere variasjonene i tørrhet av fisken ut fra tørkene.***

Den vanlige tørketeori som finnes i litteraturen forutsetter at etter en innledende tørking av vann på overflaten dannes et tørrsjikt på overflaten og at videre reduksjon i tørkehastigheten skyldes strømningsmotstanden gjennom dette. Målingene av tørkehastighet avhengig av relativ fuktighet i lufta viser at tørketeorien ikke kan være riktig for klippfisktørking. **Resultatene viser at etter ca. ett døgns tørking hadde luftfuktigheten liten påvirkning på tørkehastigheten og viser at andre forhold som vanntransport inne i våt fisk, salttransport og saltoppbygging i tørkeområdet, mv. også har stor betydning.** Enkle tester som å ta ut fisk av tørka og plassere de i romtemperatur med lav luftsirkulasjon viste omtrent samme vekttap som i stor lufthastighet i tunnelen og indikerer også at en i denne tørkeperiode kan ha lav lufthastighet. **Dette kan bety at betydelige økonomiske gevinster kan oppnås ved å endre anlegg og tørkerutinene med lav lufthastighet og høyere luftfuktighet etter innlede overflatetørking.**

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

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