

■ 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)

Undersøkelse av tørking av klippfisk i tre anlegg

SAKSBEARBEIDER(E)

Per Magne Walde og Ola Jonassen

OPPDRAGSGIVER(E)

FHL Bacalaoforum

TR NR.	DATO	OPPDRAGSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TRF6383 *	2006-06-27	Arnt Olav Aarseth	16X543
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING
060627995		^{Fuz} Anders Haugland	Fortrolig
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG SIDER
82-594-3101-7		^{Fuz} Anders Haugland	6 28
AVDELING	BESØKSADRESSE		LOKAL TELEFAKS
Energiprosesser	Kolbjørn Heies vei 1D		73593950

RESULTAT (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 avlastning 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 51.55 til 55.38 % vann med middelerverdi 53.58 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 middelerverdi 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.

* Rapporten er åpnet 2008-02-06*

STIKKORD

EGENVALGTE	klippfisk	vanninnhold
	tørking	

INNHold:

1	INNLEDNING:	3
2	MÅL	3
3	ANVENDTE METODER	4
3.1	RÅSTOFFET TIL UNDERSØKELSEN:	4
3.2	NY METODE FOR MÅLING AV VANNINNHOLD M.V	4
3.3	MÅLING AV TØRKEFORLØPET	4
3.4	SIMULERING AV TØRKEFORLØPET	5
4	LANGSBLÅST KONTINUERLIG TØRKE – OPTIMAR	5
4.1	ANLEGGET	5
4.2	MÅLEOPPLEGG	6
4.3	RESULTAT	6
4.4	SIMULERING AV TØRKEPROSESSEN	9
4.5	KONKLUSJON FOR LANGBLÅST TØRKE OPTIMAR:	10
5	LANGSBLÅST KONTINUERLIG TØRKE (A&G)	10
5.1	ANLEGGET	10
5.2	MÅLEOPPLEGG:	10
5.3	RESULTAT	11
5.4	SIMULERING AV TØRKEPROSESSEN	16
6	TVERRBLÅST BATCHTØRKE	17
6.1	ANLEGGET	17
6.2	GENERELT OM TØRKING I BATCHVIS KONTRA KONTINUERLIG TØRKE	18
6.3	MÅLEOPPLEGG	19
6.4	RESULTAT	20
6.5	SIMULERTE VERDIER VED TOTRINNS TØRKEPROGRAM 17/23 °C	25
6.6	SIMULERINGER AV TØRKEN	26
6.7	SAMMENFATTENDE VURDERING - BATCHTØRKEN	27
7	KONKLUSJON	27
	REFERANSER	27

1 INNLEDNING:

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

Det er grunn til å tro at store deler av norsk klippfiskproduksjon ikke drives kostnadsoptimalt i dag. Bemanningskostnad, energikostnad og råstoffkostnad (pga. ujevnt utbytte og ujevn tørrhetsgrad) er områder hvor man venter å finne eksempler på uøkonomisk drift.

Næringen ønsker 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, undervekt på grunn av overtørking og energiforbruk.

Det ble gjort målinger på tre tunneler sommeren 2005 og mange resultater fra dette arbeidet er samlet i denne rapporten og i TRF6320 *Energianlegg og luftfordeling i 3 klippfisktørker*. Videre er rapportene TRF 6363 *Styringsstrategi for tverrblåste batchtørker* og TRF 6372 *Simuleringer av strømningsforhold i to klippfisktørker* utgitt, og disse er under utarbeidelse:

- Laboratorieforsøk i vakuumbørke
- Laboratorieforsøk for å kartlegge brenning og eventuell skorpedannelse
- Muligheter for automatisk drift av langblåste tunneler

Den kontinuerlige, langblåste tørken med automatisk framtrekk av reoler er levert av Optimar og står hos Nils Sperre AS på Ellingsøy. Den manuelt opererte tverrblåste batchtørken fra Frigosistema i Portugal og den langblåste tørken fra Alfisen & Gunderson står begge hos Jangaard Export AS på Kleivane i Ålesund.

2 MÅL

Siktemålet er både å øke kundetilfredsheten gjennom jevnere og mer pålitelig tørrhetsgrad – og å redusere kostnader gjennom redusert timeforbruk, redusert overtørking og lavere energiforbruk.

Framtørking av saltfisk til klippfisk har gjennomgått flere fornyelser, og den moderne varmpumpebaserte klippfisktørken framstår i dag som en energiøkonomisk og klima -uavhengig tørkeprosess. Øket internasjonal konkurranse og skjerpede markedskrav gjør det likevel nødvendig å forbedre prosessen ytterligere, og prosjektet søker 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 energiforbruk
6. Øke kapasiteten på eksisterende anlegg

3 ANVENDTE METODER

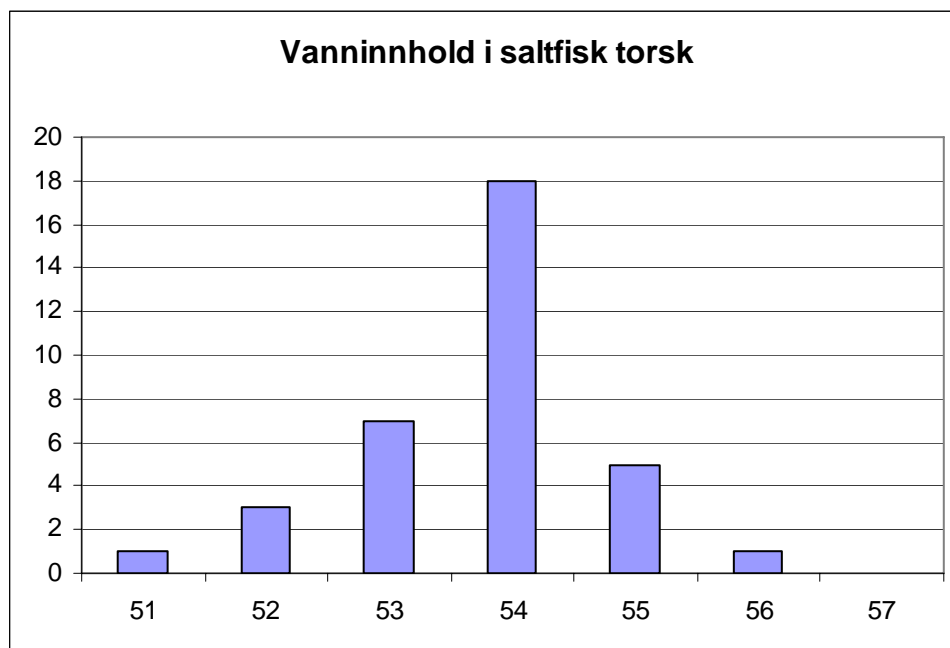
3.1 RÅSTOFFET TIL UNDERSØKELSEN:

Det ble brukt samme type råstoff til alle tørkeforsøk, saltfisk sei i vektområdet 550g til 2500g. saltfisken var relativt velpresset med midlere vanninnhold ca 54%, varierende fra 52,9% til 55,6% og med et standardavvik lik 0,58. Det antas at dette er ganske representative verdier for saltmoden fisk som brukes i klippfiskproduksjon.

Nedenfor, i Figur 1 er den målte fordelingen av vanninnholdet i en vogn med saltfisk vist i søylediagram, og inntil videre vil vi gå ut fra at vanninnholdet er normalfordelt i en gruppe saltfisk eller klippfisk.

3.2 NY METODE FOR MÅLING AV VANNINNHold M.V.

Titech Visionsort har sammen med Matforsk og SINTEF IKT utviklet et industrielt måleinstrument for registrering av vanninnhold. Dette er nå utprøvd og kalibrert for klippfisk og saltfisk av torsk og sei. Denne muligheten for ikke-destruktiv måling av vanninnholdet med Nær InfraRød (NIR) skanning gjør at store mengder data for vanninnhold kan bli tilgjengelige, og en kan blant annet fastslå hvorvidt normalfordeling er den mest representative modellen for vanninnholdet i saltfisk og klippfisk. Som vist nedenfor i Figur 1, indikerer analyse av vanninnhold i saltfisk en fordeling som likner på normalfordelingen



Figur 1 Vanninnhold i saltfisk torsk, fordeling i prosentandel på y-aksen for hver prosent vann, våt basis på x-aksen, målt på 316 stk. saltfisk, dvs. en vogn. For eksempel inneholder 7 prosent av saltfiskene mellom 53 og 54 prosent vann.

3.3 MÅLING AV TØRKEFORLØPET

Tørkehastigheten bestemmes ved vektmålinger av merket fisk underveis. Den merkede fisken plasseres etter et bestemt mønster for å avdekke forskjeller høyt / lavt / midten, og sideveis. For hver tørke er plasseringen av merket fisk vist i figur og beskrevet.

En målerunde på industrielt anlegg omfatter følgende aktiviteter:

1. Tunnelens fyllingsgrad i % av maksimal fylling registreres
2. Stabling og vognføring kartlegges, luftspalter dokumenteres ved oppmåling og bilder.
3. Vanninnhold måles i råstoff og produkt, og gjennomsnitt og standardavvik beregnes
4. Tørkehastighet registreres/beregnes, og det undersøkes korrelasjon mellom tørkehastighet og hhv. størrelse og startvanninnhold
5. Varmepumpens prosessdata kartlegges
6. Energiforbruket måles
7. Tørkeluftens prosessdata kartlegges, med temperatur og fuktighet
8. Strømningsforhold kartlegges, med hastighetsfordeling, retning, turbulens og dødsoner
9. Avvanning måles i avløp under fordamper og sammenholdes med luftdata
10. Timeforbruk registreres i samarbeid med bedriften
11. Faktisk og maksimal anleggskapasitet estimeres ut fra målinger og maskindata. Kapasiteten angis som kg vannfordamping per tidsenhet og kg ferdig klippfisk per døgn, under gitte forutsetninger.

3.4 SIMULERING AV TØRKEFORLØPET

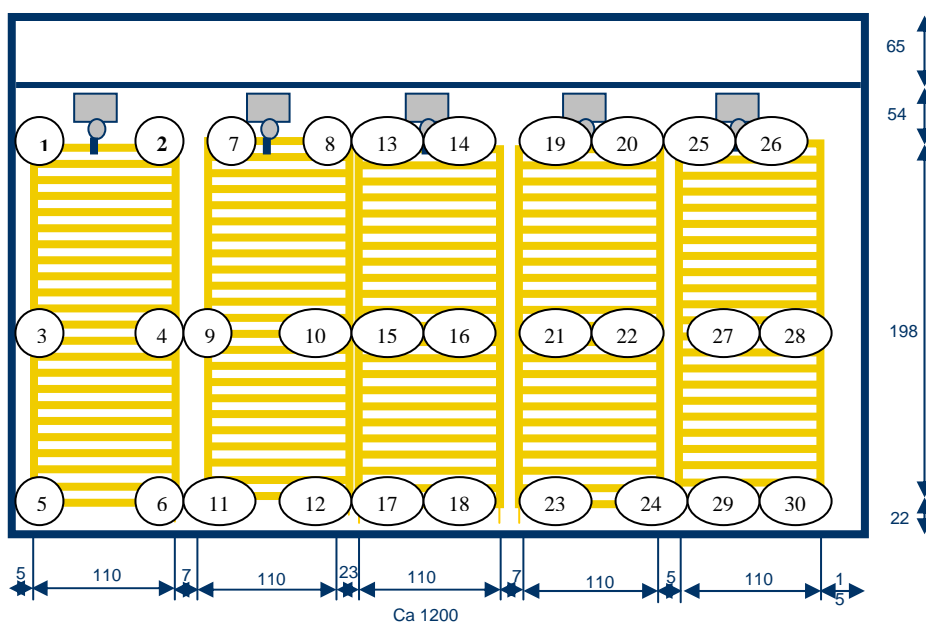
Tørkeforløpet simuleres i programmet VPFISK, som er utviklet ved SINTEF/NTNU. Programmet beregner tørkehastighet ut fra luftverdier og fiskestørrelse og korrigerer luftverdiene etter hvert som det skjer utveksling av varme og fuktighet mellom luften og tørkegodset. Programmet er basert på data for tørking av saltmoden torsk. Det kan beregne kontinuerlige og satsvise (batch) tørker, og en kan endre temperatur etc. underveis i forløpet. Nødvendig tørketid for en gitt tørrhetsgrad kan beregnes, likedan tørkekapasiteten for en gitt tørke med et gitt råstoff.

4 LANGSBLÅST KONTINUERLIG TØRKE – OPTIMAR

4.1 ANLEGGET

Dette anlegget ble installert i 1999. Det har 5 vogner i bredden og 16 vogner i lengderetningen, og er den eneste tørken i Norge med hengende reoler og automatisk framtrekk. Brettene består av treramme med påspennet netting som fisken legges på.

Dette er den vanligste tørketyperen for klippfisk når en ser bort fra framtrekkssystemet, og drives kontinuerlig med innmating i den kaldeste ende og gradvis framtrekking mot den varme innløps ende for tørkeluft. En målerunde her vil derfor kreve at noen forutsetninger er oppfylt: for det første må fyllingen i tørken være lik før, under og etter målerunden. For det andre må tørkens driftsparametere være stabile like før, under og like etter målerunden. Med andre ord må vi ha stasjonær drift for å få et meningsfullt resultat av en kontinuerlig prosess. Varigheten for målerunden kan eksempelvis være tiden for gjennomløp av 3 vognrekker, der noe av fisken er merket og veid og all fisken har gjennomgått hurtigmåling av vanninnhold med den nye NIR-måleren før og etter tørking.



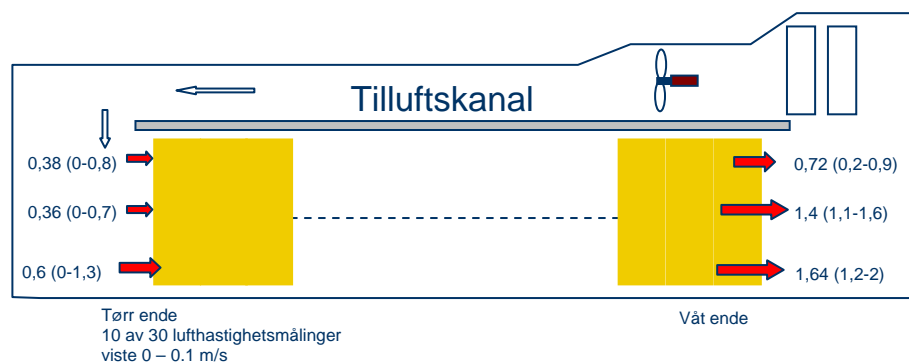
Figur 2. Målsatt skisse av tverrsnitt av kontinuerlig tørke med automatisk framtrekk (Optimar). Plassering av merket fisk for vektmålinger er angitt. Måltall i cm.

4.2 MÅLEOPPLEGG

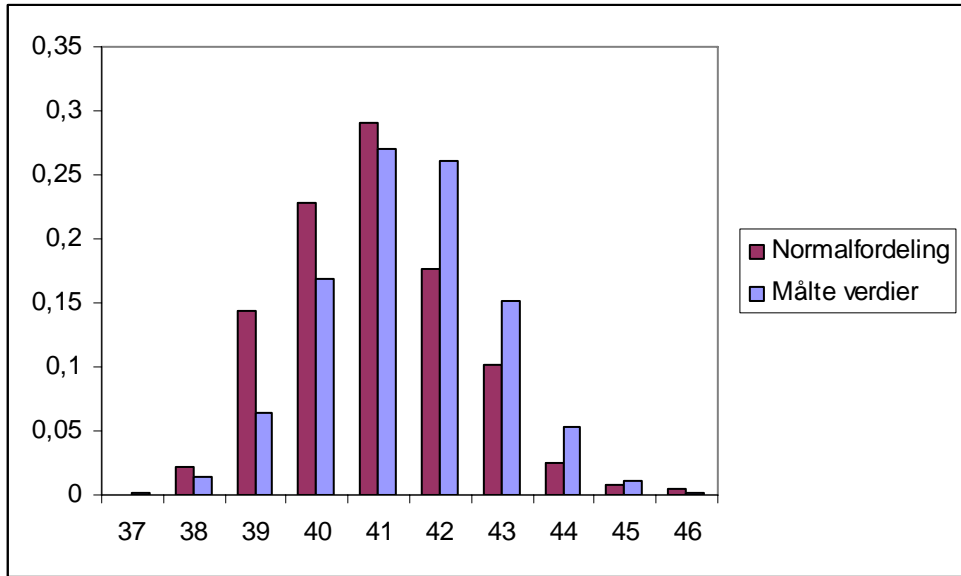
Lufthastighet, luftfuktighet og temperatur ble målt manuelt i tillegg til at temperatur og luftfuktighet ble kontinuerlig logget. 30 saltfisk ble lagt inn i en vognrekke som vist i Figur 2 etter å ha blitt merket, veid og NIR skannet for fuktighetsinnhold. I tillegg ble alle fiskene på en vogn NIR skannet før og etter tørking for å undersøke variasjonen i vanninnhold, både i saltfisk og i klippfisk.

4.3 RESULTAT

Fyllingsgraden var noe under 100% under arbeidsdagen, men vanligvis 100% etter arbeidstid, når skifting var fullført.

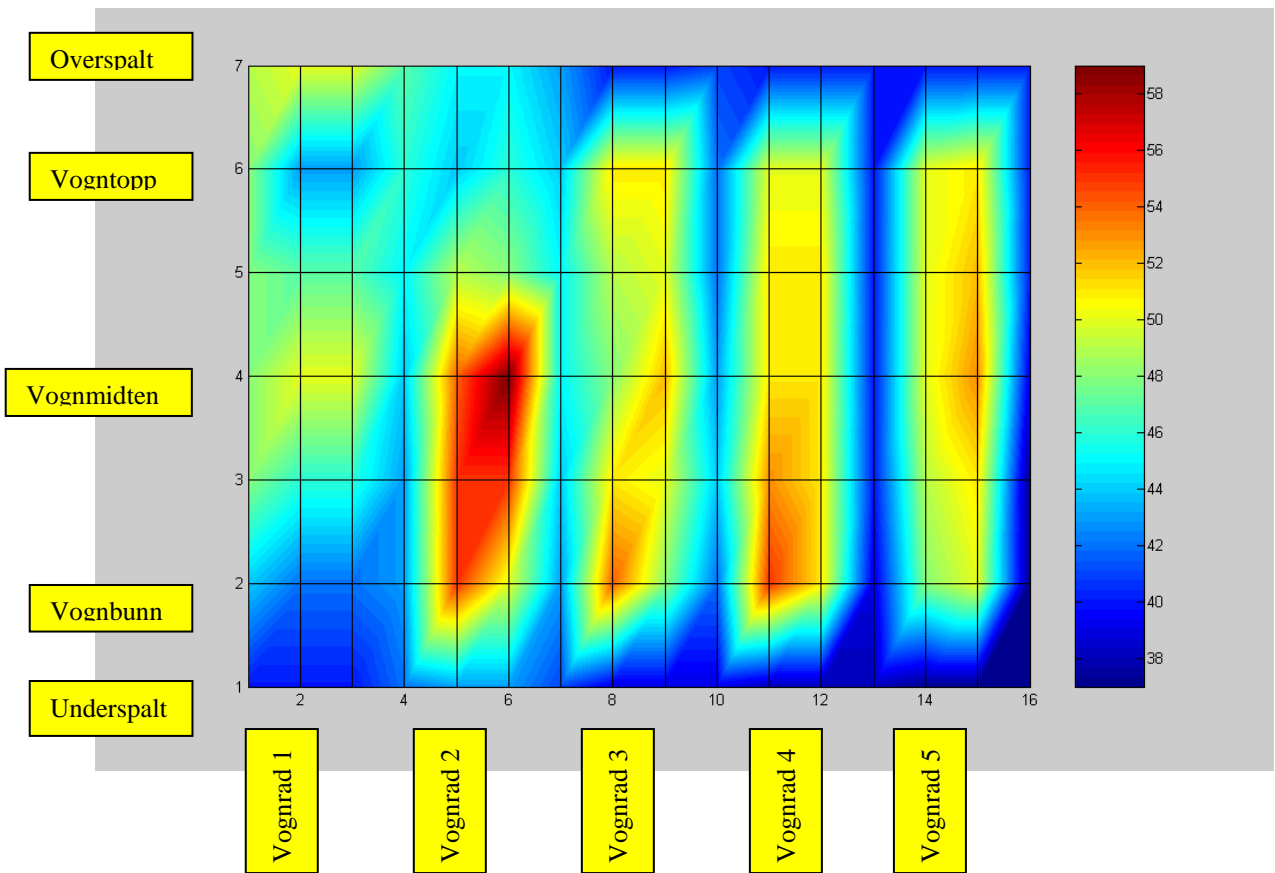


Figur 3 Lengdesnitt av tørken med angivelse av midlere verdier for lufthastighet (min.-maks. i parentes)



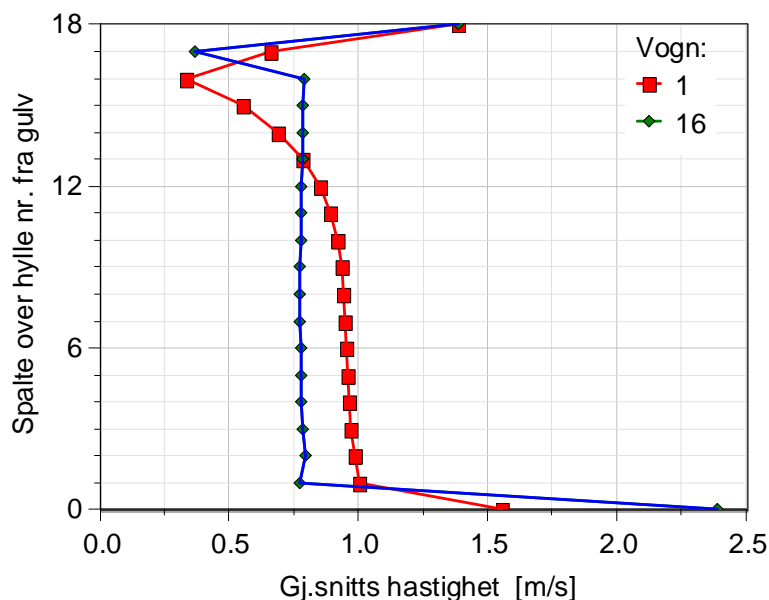
Figur 4. Normalfordeling av vanninnhold i klippfisk sei basert på middelværdi 41,43 og standardavvik 1,408 målt på en hel tørkevogn til sammen 238 stk sammenliknet med fordelingen av de målte verdier som ligger til grunn for middelværdi og standardavvik. Faktisk tørketid er 3 døgn. Y-aksen viser andelen fisk fra partiet innen hver vanninnholdsgruppe.

Normalfordelingskurver kan vi bruke til hjelp for å sette opp forbedringsplaner, og estimere hvordan et gitt parti vil forholde seg til grenseverdier på grunnlag av stikkprøver.



Figur 5. Fuktighetsfelt i prosent relativ luftfuktighet for Optimar – tørke våt ende visualisert med en fargeplot. I fargekolonnen til høyre er det vist hvilken fuktighet hver farge tilsvarer. Hvert kryss i rutenettet representerer en måling

I figur 5 vises profil av luftfuktigheten over tverrsnittet i våt ende. Vognradene 2..5 framtrer tydelig med høyere luftfuktighet enn i spaltene over, under og mellom vognene. Vognrad 1 er ikke så utpreget, men vognrad 2 peker seg derimot ut med høy luftfuktighet.



Figur 6. Hastighetsfelt på langs av tørken. Resultater fra simulering i Fluent. Fra rapport TRF 6372.

Figur 6 er generert av simuleringsprogrammet Fluent, og bygger på en simulering på bakgrunn av målte data i tørken. Dette er beskrevet nærmere i rapport TRF 6372 *Simuleringer av strømningsforhold i to klippfisktørker*. Figur 6 viser at hastigheten varierer med høyden i tørken, og at hastigheten er lav på de øverste brettene. Optimal tørkehastighet blir vanligvis regnet som ca. 2 m/s, altså noe mer enn den typiske verdien her. Hastighet under 1 m/s indikerer at tørkehastigheten kan økes ved å øke lufthastigheten, noe som særlig gjelder i de øverste hyllene her.

Tabell 1. Målte vanninnhold i 29 fisk (sei) som ble merket og fulgt gjennom tørken. Fiskene varierte i startvekt fra 649.8 til 1194 gram med middelvei 933.

	saltfisk	klippfisk
middelvei	54.46	44.3
standardavvik	0.5	2.36
maks.verdi	55.6	49.03
min.verdi	53.3	39.63

Tabell 2. Målte vanninnhold i en reol sei (238 stk).

	saltfisk	klippfisk
middelvei	54.7	41.43
standardavvik	0.49	1.41
maks.verdi	53.4	46.11
min.verdi	56.3	38.34

Fra Tabellene 1 og 2 ser vi svært mye større spredning i vanninnhold på tørket klippfisk enn på den saltmodne og pressede seien. Dette har to årsaker, den ene er at det er ujevne forhold i tørken idet vi har områder hvor fisken tørker effektivt og andre hvor luften er nesten stillestående. Den andre årsaken er at fisken er ujevn i størrelse. Stor fisk tørkes selvsagt seinere enn små fisk. Det

ble gjort forsøk på å finne sammenhenger mellom tørkeforhold (lufthastighet og luftfuktighet) og tørkehastighet uten at vi så en sammenheng. Et eksempel på slik sammenligning er gitt under omtalen av den andre langblåste tørken i Kapittel 5.3. Den eneste sikre konklusjonen vi kan trekke er at saltfisk med lite variasjon i vanninnhold tørkes til klippfisk med stor variasjon i vanninnhold. Dette gir selvsagt en utfordring for produsenten for å produsere klippfisk hvor ingen fisk i et parti er for våte samtidig som gjennomsnittlig vanninnhold ikke skal være for lavt. Det gir tap i salgbar vekt.

Det er vanlig at saltfisken lagres en periode på pall før den tørkes slik at den er saltmoden og den blir til en viss grad også presset. I tillegg vil fiskenes vanninnhold utjevnes både fra våte til tørrere partier i hver fisk og fra individer med høyt til de med lavere vanninnhold. Den klippfisken som ble målt for vanninnhold kom rett fra tørken. Det er vanlig at også tørket klippfisk lagres en periode på pall før salg. Det er dermed å forvente at en lignende utligning vil skje med denne. Dette er ikke målt i prosjektet og burde sjekkes med en egen målerunde senere.

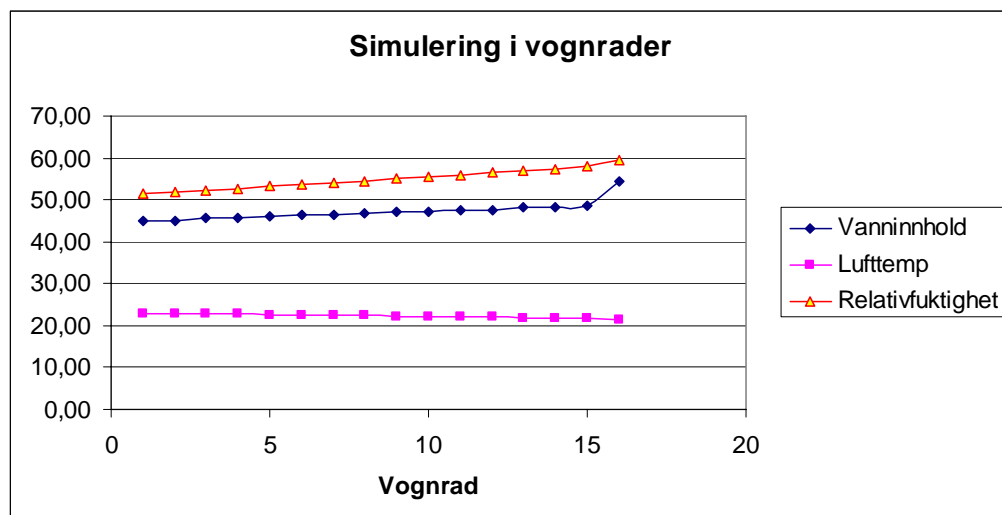
4.4 SIMULERING AV TØRKEPROSESSEN

Tørkesimuleringsprogrammet VPFisk ble benyttet, med situasjon kontinuerlig, dvs at hver voghrad representerer et trinn i tørkeprosessen. Følgende tabell oppsummerer tørkesimuleringen. Denne tørka har forholdsvis mye spalteluft, og programmet fanger ikke opp dette med særskilte tilpasninger.

Tabell 3. Resultat av simuleringen av Optimar - tørken

Tørketid	(døgn :timer)	03:02
Innsatt mengde	(tonn)	113,75
Produksjon pr. døgn, (produksjonsperioden)	(tonn)	12,881
Gjennomsnittlig relativ fuktighet i innløp	(%)	53,04
Gjennomsnittlig termisk effektivitet	(-)	0,309

Tabell 3 viser at produksjon per døgn i produksjonsperioden, dvs. fra innsetting til ferdig tørket er 12.9 tonn per døgn, og at tørketiden er 3 døgn og 2 timer. Dette er det mest relevante målet for en tørke som er i kontinuerlig drift. Hvor lenge simuleringsperioden er, spiller ingen rolle så lenge den er lengre enn nødvendig tørketid. Tørketiden stemmer godt overens med faktisk tørketid, jfr fordelingen vist i Figur 4. Termisk effektivitet viser hvor stor del av tilført energimengde som nyttes til vannfordamping



Figur 7. Resultater fra simulering i VPFISK. Variasjon av vanninnhold, lufttemperatur og relativ luftfuktighet for vognraderne er vist i luftretningen.

Figur 7 viser hvordan luft blir kaldere og fuktigere etter hvert som den passerer fiskevogner, og hvordan fisken i vognene blir gradvis tørrere.

4.5 KONKLUSJON FOR LANGBLÅST TØRKE OPTIMAR:

Denne tørka har et godt maskineri og en hensiktsmessig driftsmåte. Det største forbedringspotensialet ligger i å bedre luftfordelingen og redusere spalteluften over og under reolene. Dette vil øke lufthastighetene forbi fiskene og vi får mer effektiv tørking, kortere tørketid, økt tørkekapasitet og energibesparelse.

Det mekaniske reoltrekkesystemet gir også muligheter for ytterligere automasjon. I dag veies hvert brett, og vogna veies før avlegging. For å kontrollere fiskens tørrhetsgrad før uttaking, kunne det være ønskelig å veie den tørreste vogna i hver rekke, slik at vogna evt. kunne tas ut når vekta var kommet ned på et gitt nivå.

Tiltak:

1. Underspalten blokkeres med gummiklaffer eller lignende og overspalten blokkeres i en eller begge ender med gummiklaff eller deksel – dette vil øke kapasitet og redusere energiforbruk
2. Installere vekter ved enden av hver rad for å beregne tørrhetsgrad, evt. nytte strekklapper på opphengs staget på bestemte vogner med radiokobling til logger og dermed oppnå automatisk utlasting.

5 LANGSBLÅST KONTINUERLIG TØRKE (A&G)

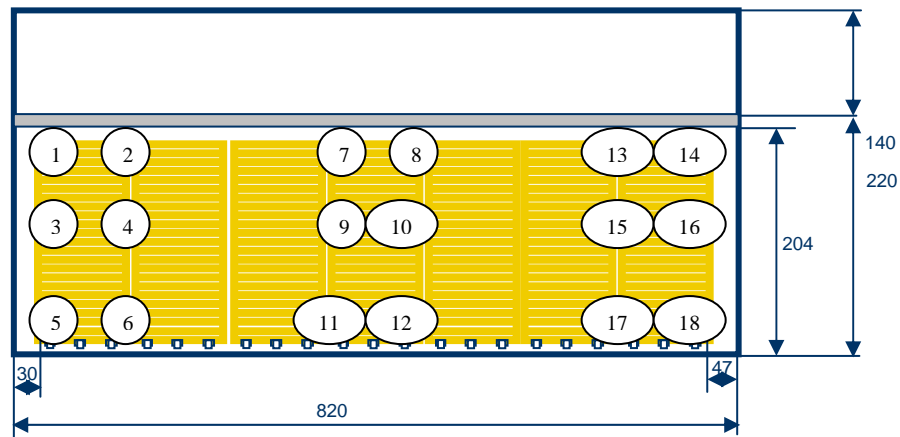
5.1 ANLEGGET

Dette anlegget ble levert fra Alfsen og Gunderson as (A&G) i 1982. Dette er en stor tørke med 7 vogner i bredden og 22 vogner i lengden. Vognene skyves inn og trekkes ut manuelt, men det er en hjelpeanordning for å skyve vognrekkene framover i tunnelen. Tørken er ellers prinsipielt lik med det langblåste anlegget fra Optimar. Figur 8 viser konstruksjonen i tverrsnitt. Tørken betjenes av 2 mann som skyller saltfisk og legger på brett. Når et antall vogner er ferdig lastet, trekkes ferdig klippfisk ut i tørr ende og saltfiskvogner settes inn i våt ende. Når disse trilles inn i tunnelen skrånstilles de en stund for at overflatevann skal renne av.

5.2 MÅLEOPPLEGG:

6. juli 2005 ble det målt på 18 merkede saltfisk sei ca 1 kg og vanninnhold ca. 55%. Fiskene ble lagt inn i tørken som vist i Figur 8. Vekt ble registrert før tørkingen, etter ca. 16 timer (neste morgen før innlastning av neste vognrekke), og ved uttak etter 120 timer. Det er praktisk talt umulig å få adkomst til fisk i andre vogner enn i første og siste vognrad.

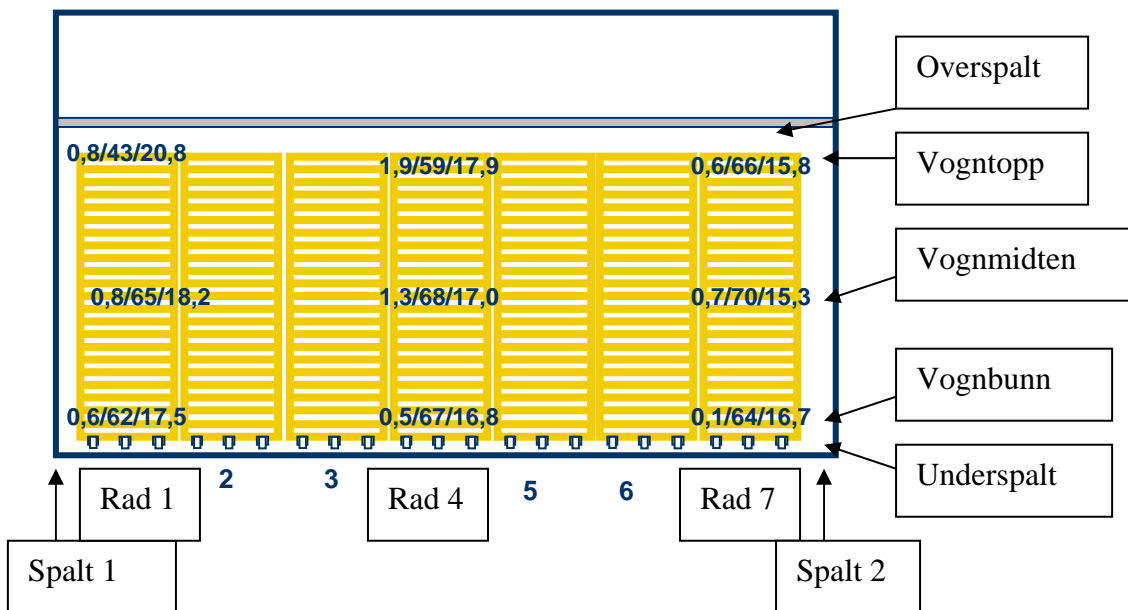
Det er viktig å merke seg at fisken som ellers ble tørket i denne tørken var stor torsk, s.k. ”Jumbo”, over 3 kg, som trenger vesentlig lenger tørketid. Vi må derfor vente at den mindre seien blir overtørket, men vi er likevel interessert i gjennomsnittlig tørkehastighet, og tørkehastighet første døgn. Seien er av samme parti og størrelse som den merkede fisken fra de andre tørkene.



Figur 8. Målsatt skisse av tunnelverrsnittet og plassering av 18 merkede fisk i A&G tørken. Mål i cm.

5.3 RESULTAT

Fyllingsgraden var ca 100% hele tiden, en ny vognrad ble skjøvet inn straks en vognrad var dradd ut. I tillegg sto ca 10 vogner til ettertørking i utmatingsområdet / vendeområdet for luft.

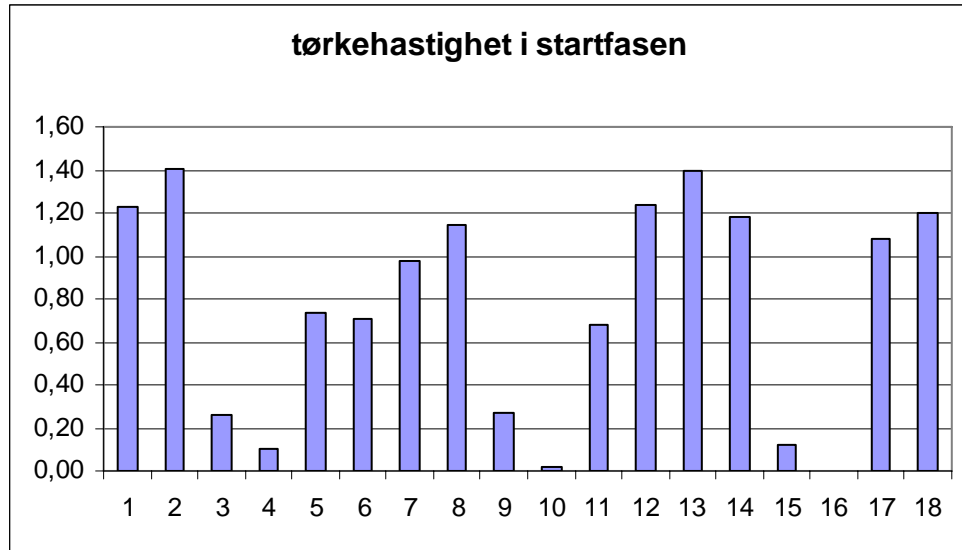


Figur 9. Lufthastighet, relativ luftfuktighet og temperatur i vognene – VÅT ende hvor luften strømmer ut av tunnelen.

Figur 9 viser at lufthastigheten i den våte enden er høyest øverst i midten, og nest høyest midt på høyden i den midterste vognen. Nederst på rad 7 er det nesten stillestående luft.

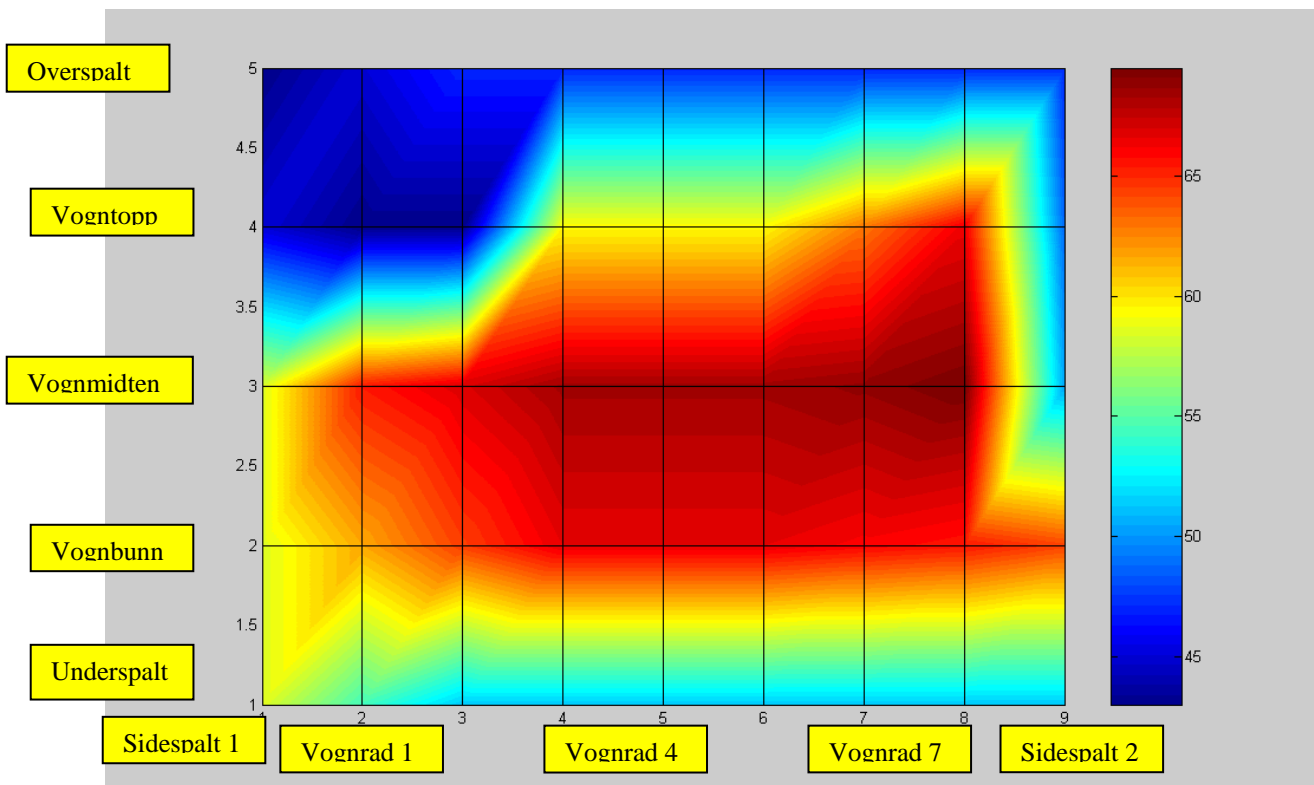
Temperaturen er høyest i overspalten, i den høyre sidespalten og underspalten. I vognene er temperaturen lavere, og lavest i bunnen av den midterste rekken. Dette tyder på at luft strømmer i spalter gjennom hele tørken på langs uten å blandes med luft fra vognene.

Fuktighetsfeltet for våt ende er vist i Figur 11. Det sees at felt med lav temperatur har høy relativ fuktighet og omvendt. Det forklares med at luft med konstant vanninnhold vil få høyere relativfuktighet når den kjøles og omvendt ved oppvarming.



Figur 10 Tørkehastighet i gram per time og 100 gram tørrstoff i startfasen (den våte enden) av A&G tørken, målt på hver av de 18 merkede fiskene. Plassering av fiskene i tunneltverrsnittet er vist i Figur 8.

Figur 10 viser at tørkehastigheten varierer sterkt i startfasen. De øverste og nederste fiskene tørker her raskest, mens de i midten tørker langsomst.



Figur 11. Fuktighetsfelt målt som relativ luftfuktighet i våt ende av A&G tørken.

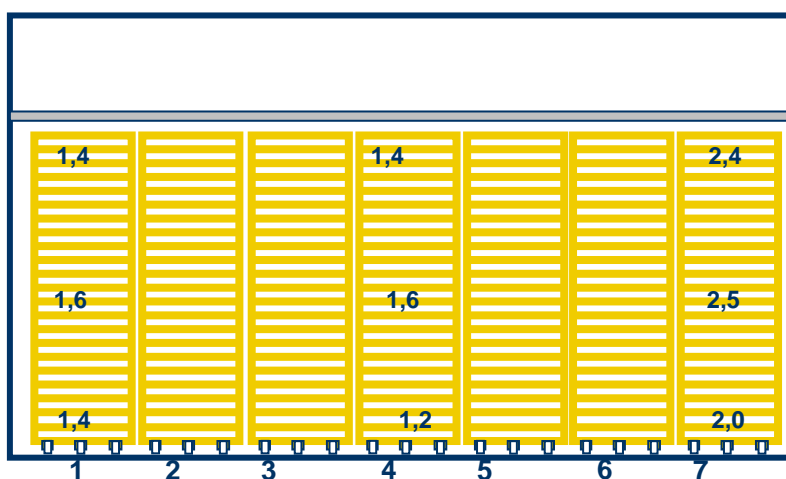
Fra Figur 9 ser vi at i midten av tørka er temperaturen rundt 16°C og luftfuktigheten over 60% i den våte enden, dvs. der fisken mates inn. I det første døgnet blir altså fisken tørket meget forsiktig, om enn noe ujevnt, noe som framgår av Figur 10. Imidlertid skjer tørkingen i det senere tørkeforløpet jevnt og effektivt, det er tydelig at fisken ikke er blitt ”lukket”. At den fisken som tørket langsomst i startfasen tørker raskest i slutfasen, har nok sammenheng med at det er mer vann å fjerne – slik at tilgangen på friere vann er større.

Tabell 4. Målte vanninnhold i 18 fisk (sei) som ble merket og fulgt gjennom tørken. Fiskene varierte i startvekt fra 672 til 1427 gram med middelerdi 936.

	saltfisk	klippfisk
middelerdi	54.18	35.49
standardavvik	0.97	1.77
maks.verdi	56.1	38.69
min.verdi	51.7	32.21

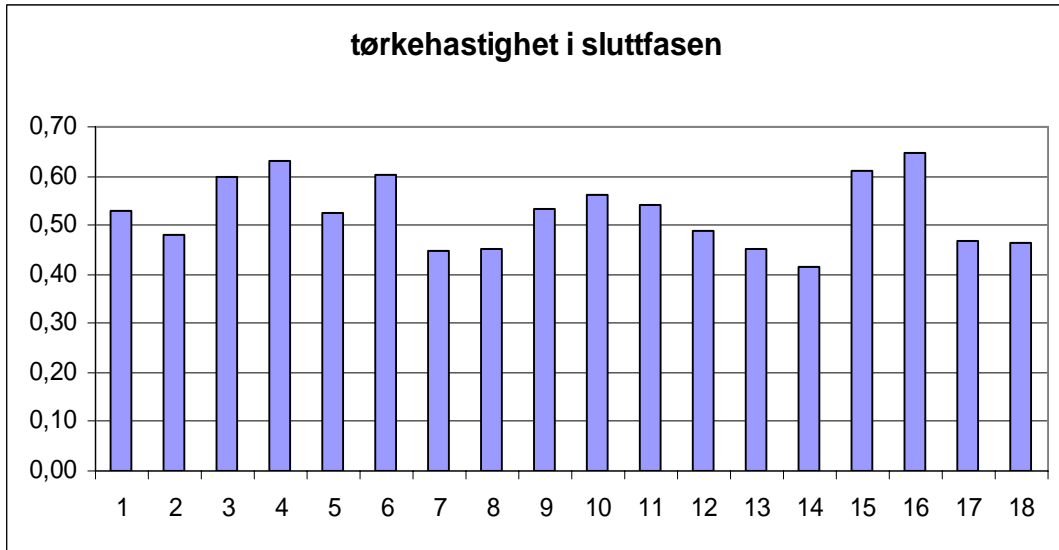
Vi ser fra Tabell 4 at saltfiskene er svært jevne i vanninnhold og at klippfiskene varierer en del mer. Det er noen betraktninger om årsaken til dette under omtalen av den langblåste tørken fra Optimar i Kapittel 4.3. De 18 seiene som ble merket og brukt til vektmålinger var adskillig mindre enn fiskene de ble tørket sammen med og som var styrende for gjennomløpstid. Derfor ble disse fiskene kraftig overtørket. Dette er en sannsynlig årsak til at variasjonen i vanninnhold er mindre for disse en de som ble målt fra de to andre tørkene.

Temperatur, fuktighet og hastighet for tørkeluften i den tørre enden kunne vært sammenholdt med tørkehastigheten i slutfasen, men det er her viktig å være klar over at det som vi har kalt slutfasen, strekker seg fra 16 timer til 120 timer, i mellom disse tidspunkt er vognene utilgjengelige for måling. Luftens verdier er bare målt ved innløpspunktet, og det vil ikke være riktig å sammenligne tørkehastigheten med bare en liten del av lufttilstanden.



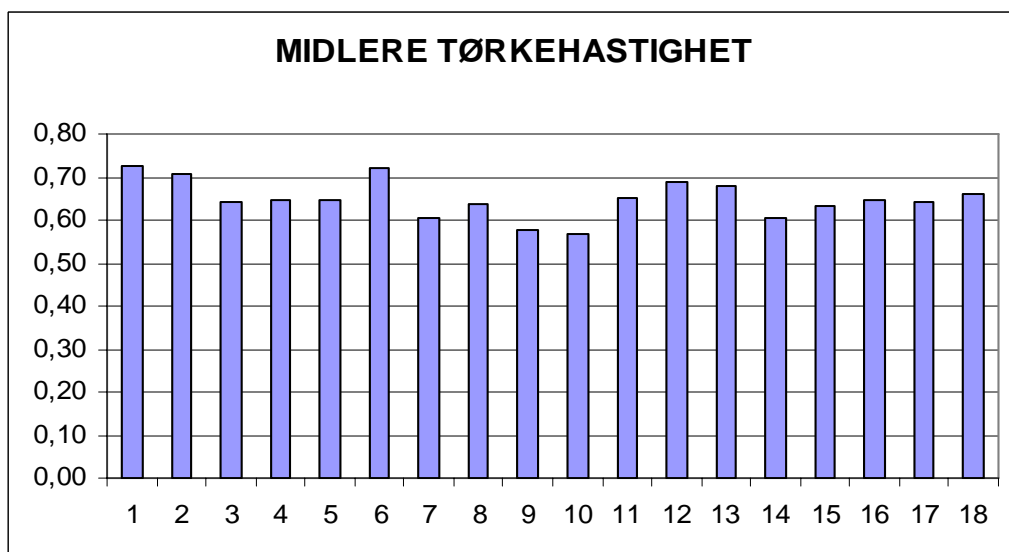
Figur 12 Lufthastigheter i vognene (m/s) i tørr ende

Av figur 12 ser man at lufthastigheten i tørr ende er mye jevnere fordelt enn i den våte enden. Det samme gjelder relativfuktighet og lufttemperatur, som er tilnærmet lik 37 % og 23 °C.

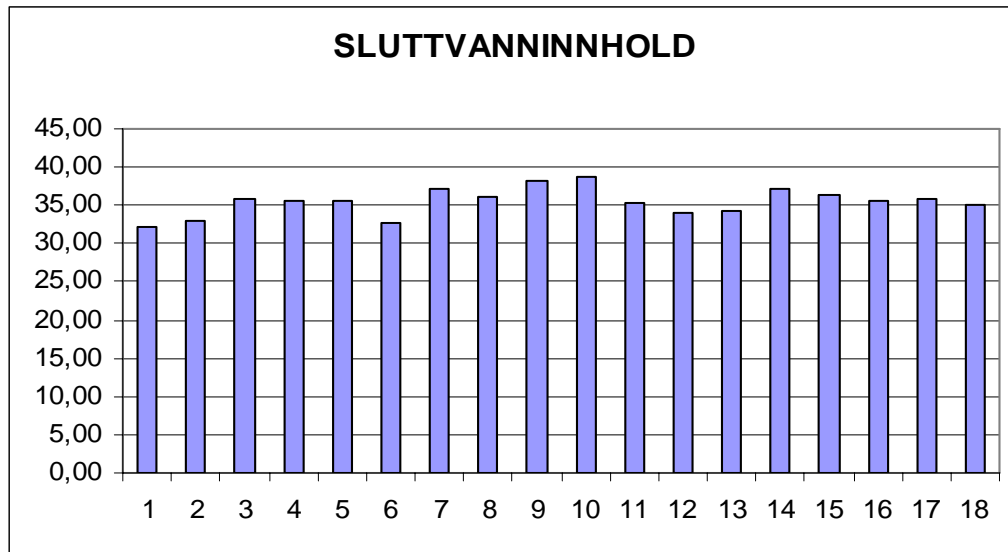


Figur 13. Tørkehastigheter i gram per time og 100 gram tørrstoff i slutfasen, A&G tørken. Plassering av fiskene 1..18 i tunneltverrsnittet er vist i Figur 8.

Tørkehastigheten i ”slutfasen” som er perioden fra 16 timer etter start til 120 timer, ved slutt av tørkeforløpet, dvs. i tørr ende, er tilnærmet motsatt i forhold til startfasen men med mye mindre variasjoner. De fisker som tørket raskt i startfasen, tørket desto langsommere i slutfasen, noe som vises i midlere tørkehastighet, som er relativt jevnt fordelt, se Figur 14.



Figur 14. Midlere tørkehastighet i gram per time og 100 gram tørrstoff, A&G tørken. Plassering av fiskene 1..18 i tunneltverrsnittet er vist i Figur 8.



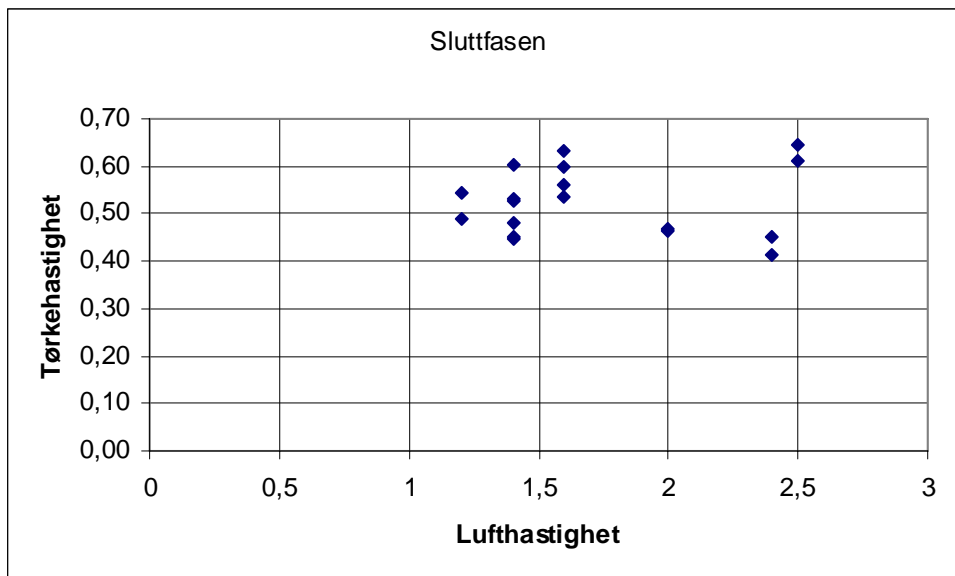
Figur 15 Slutt – vanninnhold i vekt-% vann av våt vekt i A&G tørken.
Plassering av fiskene 1..18 i tunneltverrsnittet er vist i Figur 8.

Vi ser at slutt – vanninnholdet er relativt lavt. Dette skyldes at den merkede fisken som ble lagt inn var mindre enn den fisken som tørken ble styrt etter, slik at den fikk lenger tørketid enn nødvendig. Dersom en legger tørkehastigheten i siste del av tørkingen til grunn, er tørketiden ca. 50 timer for lang, dvs. at en tørketid på ca 70 timer skulle være rimelig her. Slik overtørking er ikke vanlig, men ble her et resultat av forsøksbetingelsene.

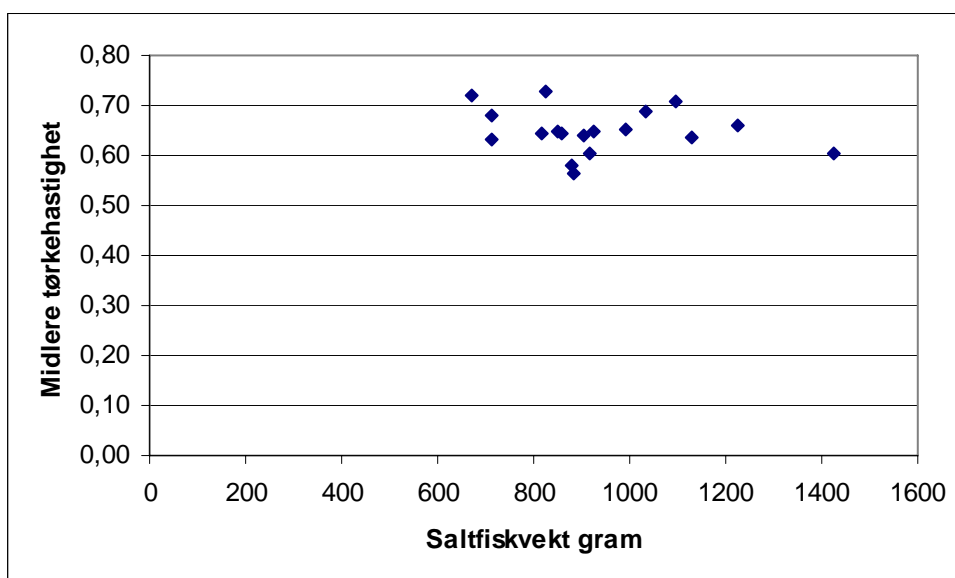
Tørkehastigheten varierer med mange faktorer, og de viktigste er:

- Lufthastighet: høy lufthastighet gir høy tørkehastighet
- Luftfuktighet: lav luftfuktighet gir høy tørkehastighet
- Lufttemperatur: høy lufttemperatur gir høy tørkehastighet
- Fiskestørrelse: stor fisk gir lav tørkehastighet grunnet lite areal/vektforhold og stor tykkelse
- Fiskeart: det er kjent at torsk tørker raskere enn sei
- Saltmodning/pressing: velpresset, moden saltfisk gir høyere tørkehastighet enn rå, lite avlagret saltfisk, i tillegg er startvanninnholdet lavere for velpresset, saltmoden fisk.

I det følgende er det gjort et forsøk på å se sammenhengen mellom tørkehastighet og noen av tørkebetingelsene for de 18 fiskene som ble målt.



Figur 16. Regresjonsplott for tørkehastighet i gram per time og 100 gram tørrstoff mot lufthastighet i sluttfasen.



Figur 167. Regresjonsplott av midlere tørkehastighet i gram per time og 100 gram tørrstoff mot fiskestørrelse.

Det mest påfallende ved plottene i Figur 16 er at det ikke viser noen sammenheng mellom lufthastighet og tørkehastighet. Det som kjennetegner de prøvene som har lavest tørkehastighet er at de ligger midt i vognene, og hvor det også ble målt høyere luftfuktighet. Det er mulig at effekten av høyere lufthastighet er større enn effekten av variasjon i lufthastighet.

Figur 17 viser at i dette tørkeforsøket er det ikke påvist sammenheng mellom tørkehastighet og fiskestørrelse. Dette kan ha sammenheng med at fisken ble overtørket, slik at både stor og liten fisk nærmet seg likevekt med tørkeluften.

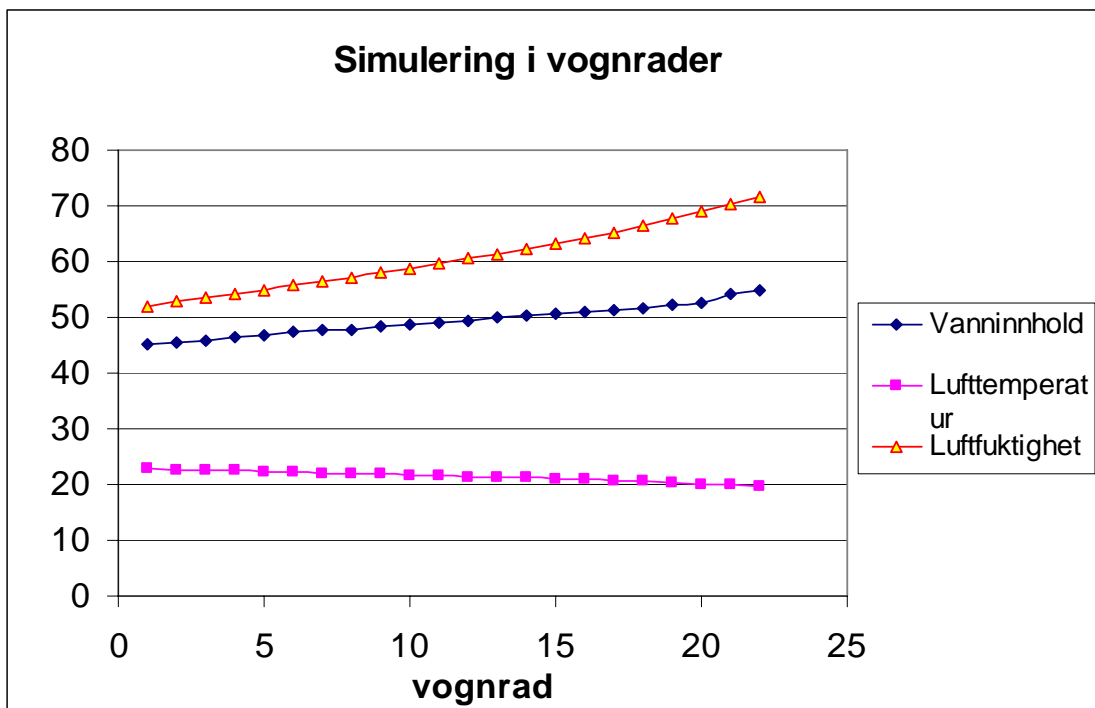
5.4 SIMULERING AV TØRKEPROSESSEN

Tørkeprosessen ble simulert med VPFisk for kontinuerlig tørking, 1 rad ut / 1 rad inn, ved konstant innløpstemperatur 23°C. Beregnet saltfisk med 55 % vanninnhold til klippfisk med midlere vanninnhold 45 % (maks 47%). Det er simulert med klippfisk torsk, ca. 1 kg, så virkelig tørketid for sei er lenger. En introduksjon til VPFisk er gitt i kapittel 3.4.

Tabell 5 Resultatet av simuleringen for A&G tørken

Tid for første uttak (tørketid)(døgn: timer) :	02:10
Innsatt mengde (tonn):	204.750
Produksjon pr. døgn (produksjonsperioden), (tonn):	18.652
Totalt utfelt vannmengde over fordampner (tonn):	29.430
Gjennomsnittlig termisk effektivitet (-):	0.392

Fra Tabell 5 er simulert tørketid 2 døgn og 10 timer (58 timer) fra innsett til uttak. Dette er noe kortere enn den faktiske tørketiden, selv om en tar hensyn til at fisken faktisk ble overtørket. Korrigert tørketid ville da vært ca. 70 timer for tørking til 45% midlere vanninnhold. Termisk effektivitet viser hvor stor del av tilført energimengde som nyttes til vannfordampning.



Figur 18. Simulering av tørkeprosessen langs 22 vognrader i langsblåst kontinuerlig tørke (A&G).

I Figur 18 ser vi at lufttemperaturen stiger og luftfuktigheten faller etter hvert som luften treffer vognradene. Disse går motstrøms mot luften, slik at vognrad 22 kommer først inn i tørken og beveger seg mot luften, og blir gradvis tørrere.

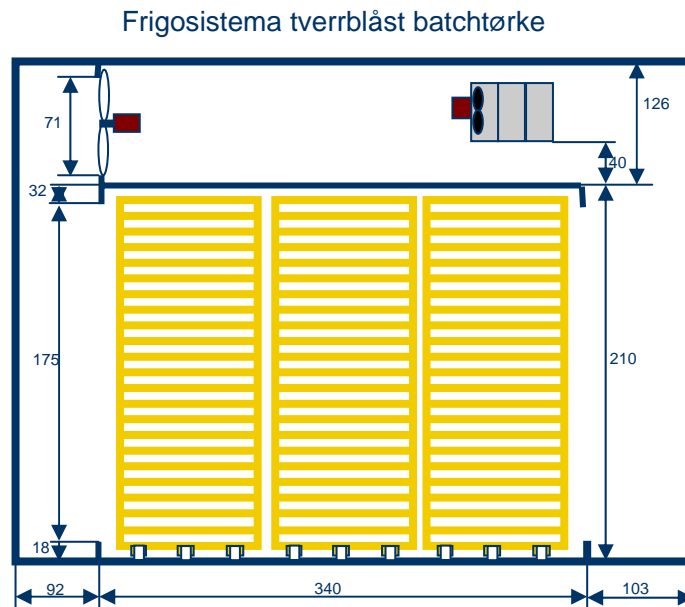
6 TVERRBLÅST BATCHTØRKE

6.1 ANLEGGET

Dette anlegget er levert fra portugisiske Frigosistema. Tunnelen rommer 3 vogner i bredden og 8 vogner i lengden. Tunnelen er 12.6 m lang og rommet for vognene er 3.4 m bredt. Luften sirkuleres på tvers gjennom tunnelen av 12 aksialvifter. Noe av luften passerer gjennom de 2 luftbehandlingsaggregatene hvor den nedkjøles, fukt utfelles og den oppvarmes.

Rotasjonsretningen snues jevnlig for tunnelviftene for å veksle strømningsretningen. De 2 luftbehandlingsaggregatene har 3 aksialvifter hver og disse roterer i samme retning alltid. Tørken betjenes ved at 2 mann forbereder til en kjøring ved å skylle og legge saltfisk på brett, nok til å

fylle 24 vogner. Vognene trilles inn i tørken, porten lukkes og tørken startes. Normalt vil den være i drift omtrent 4 døgn før tørkingen avbrytes og vognene trilles ut. Det er fullt mulig å gå inn i tørketunnelen og ta prøver av fisk for å sjekke vanninnholdet underveis i tørkeforløpet. Den midterste av de 3 vognradene er vanskelig tilgjengelig for å ta prøver. Figur 19 viser tørketunnelen.



Figur 19. Geometri for tverrsnitt i Frigosistema-tørke. Mål i cm.

6.2 GENERELT OM TØR KING I BATCHVIS KONTRA KONTINUERLIG TØRKE

Batchtørkene skiller seg fra de kontinuerlige tørkene bl.a. ved at all fisken er i samme fase av tørkeforløpet samtidig, mens fisk i kontinuerlige tørker går gjennom forskjellige faser etter hvert som den mates gjennom tørken. I en batchtørke vil derfor temperatur og luftfuktighet avspeile hvor langt i tørkeforløpet en er kommet, mens den kontinuerlige tørken har stabil drift så lenge den er i gang. Her vil fiskens posisjon i kanalen avspeile hvilken fase av forløpet den er i. Ut fra generell tørketeori kan vi dele tørkeforløpet inn i følgende faser eller avsnitt:

1. Oppvarming av tørkegodset, dvs. fisken, til luftens våtkuletemperatur.
2. Perioden med konstant tørkehastighet. Her er overflaten fortsatt fuktig.
3. Perioden med lineært fallende tørkehastighet, her tørker overflaten ut.
4. Den andre perioden med fallende tørkehastighet. All overflate er tørr og det tørkes gjennom et stadig tykkere tørrsjikt.

Oppvarmingen kan ta en viss tid, særlig ved vasket fisk som kommer rett fra kjølelageret. Oppvarmingen blir forsinket ved avdamping av store mengder overflatevann, en prosess som krever mye energi.

Perioden med konstant tørkehastighet kjennetegnes av at overflaten hele tiden er fuktig, og at kjernen er i stand til å levere fram like mye vann til overflaten som luften fjerner. Når ikke lenger tilstrekkelig vann tilføres overflaten, oppstår et tørrsjikt, som danner et skille mellom den tørkende delen av fisken og tørkeluften.

Overgangen fra konstant tørkehastighet til første perioden med fallende tørkehastighet markerer at de første delene av fiskens overflate blir tørr. Da klarer ikke lenger intern fukttransport i

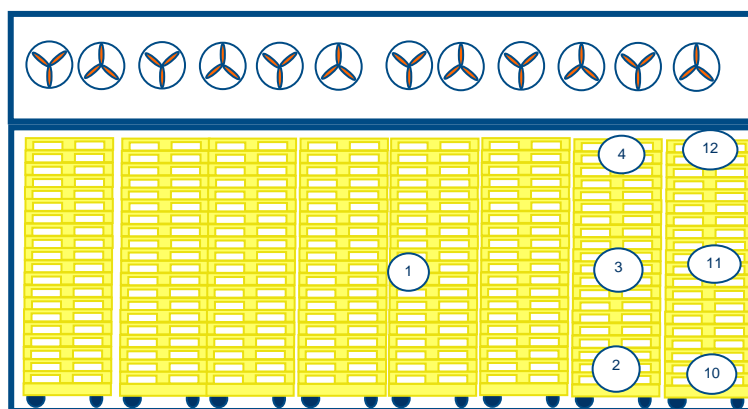
fiskekjøttet å holde all overflate fuktig. Etter hvert som stadig større del av fiskens areal blir tørr, avtar tørkehastigheten ytterligere.

Overgangen til den andre perioden med fallende tørkehastighet markerer at tilnærmet all fiskeoverflate er blitt tørr og fukt må transporteres fra fiskens indre deler mot overflaten for så å fordampe der. Dette markerer ytterligere reduksjon i tørkehastighet, og tørrsjiktet vokser bare meget langsomt, og i tykkfisken er størstedelen av tverrsnittet fortsatt mykt – selv om vanninnholdet avtar. I bukklapper og ved sporden kan tverrsnittet derimot være tilnærmet gjennomtørket, og en ser tydelig oppkrølling som følge av krymping på kjøttssiden. Dette skyldes at fisken tørker vesentlig raskere på kjøttssiden enn på skinnsiden. Gjennomtørking av tykkfisken ville gi alt for tørr klippfisk, og det er vanlig å etterlagre klippfisken i minimum et døgn før sortering og pakking (dette var tidligere et forskriftskrav).

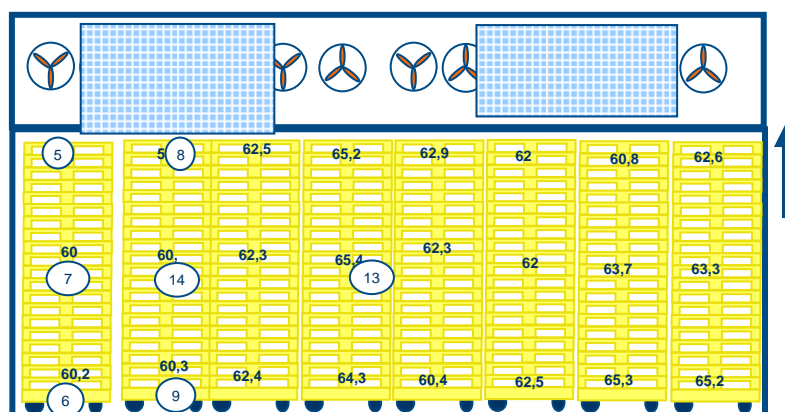
6.3 MÅLEOPPLEGG

Aktivitetslisten i Kapittel 2.1 ble fulgt. I batchtørken er det mulig å måle vanninnhold før, under og etter tørking av fisken. 14 fisk ble merket og fulgt opp med vektmålinger.

Her kan all fisken hurtigmåles for vanninnhold før og etter tørking, mens et mindre antall merkes individuelt for nøyere undersøkelse. Her står fisken i ro, mens tørkeluften forandrer retning med ca. 2 timers mellomrom. Driftstilstand A betegner situasjonen der aggregatvifte og sirkulasjonsvifter blåser samme vei fra venstre mot høyre gjennom vognene i Figur 19. Driftstilstand B betegner situasjonen der sirkulasjonsviftene blåser motsatt vei, men aggregatviftene samme vei som ved A. Målerundens varighet vil naturlig være tørketiden for en fylling.



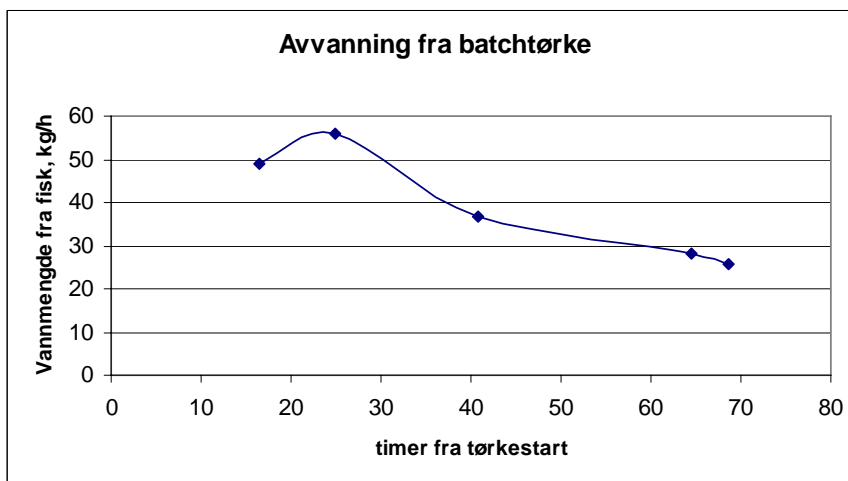
Figur 170. Plassering av merkede fisker på viftesida i tunnelen.



Figur 21. Plassering av merkede fisker på kompressorsida i tunnelen.

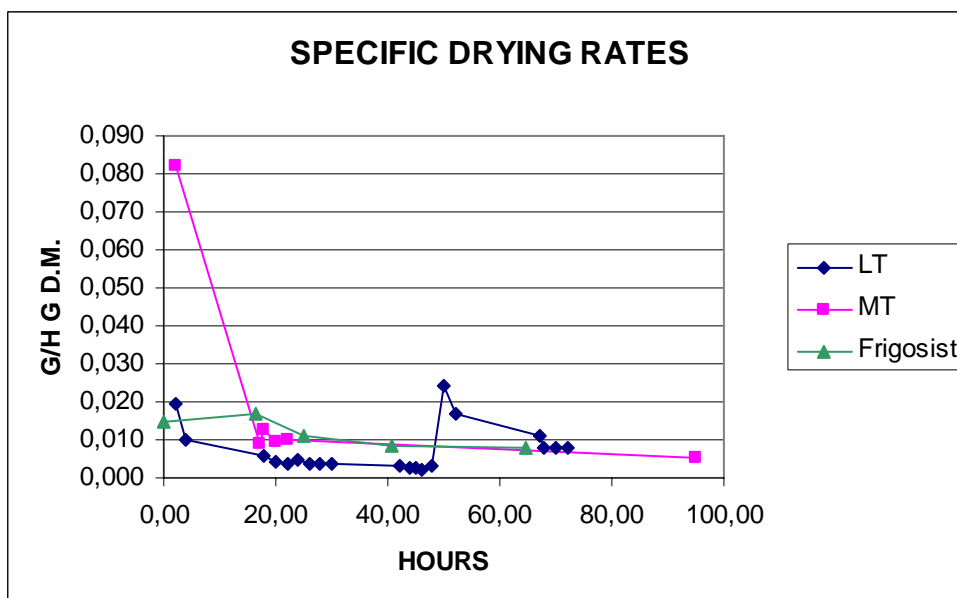
6.4 RESULTAT

Fyllingsgraden er 100% fra start til slutt, noe som er vanlig unntatt ved tørking av restparti en sjelden gang.



Figur 182. Beregnet vannmengde som er fjernet fra fisk i måleperiode i uke 27. Beregningene er basert på vektmålinger av 14 fisk. Total vannfjerning fra anlegget er større fordi det fjernes vann fra dammer på fisken og gulvet også.

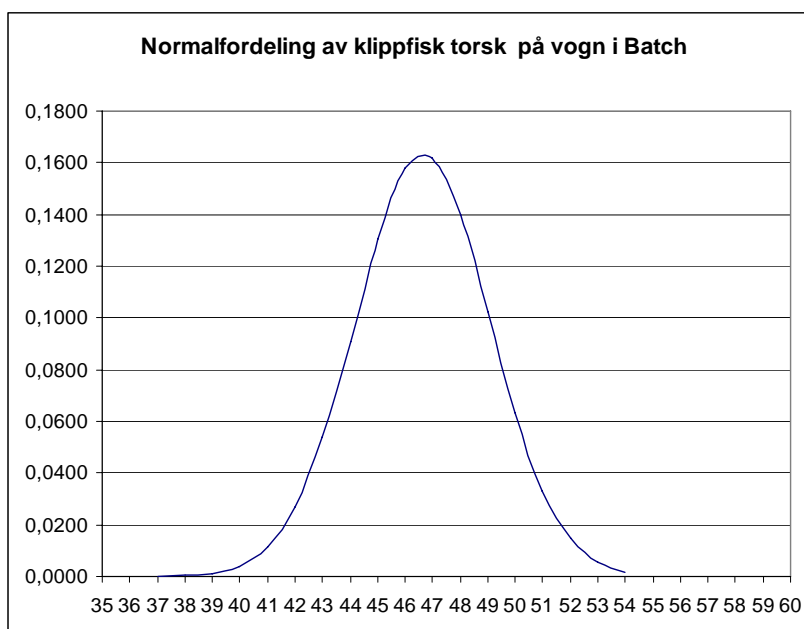
Fra Figur 22 ser vi at de første 15 timene øker tørkehastigheten til et maksimum, for deretter å avta. Det er verdt å merke at prøvefiskene var uten overflatevann, dvs. at de hadde saltfiskens vanninnhold også ved overflaten. Overflatevann og vann på gulvet vil belegge en tilleggs kapasitet i denne tiden, tilsvarende kanskje 100 kg, eller om lag 2 timers tørkekapasitet.



Figur 193. Tørkekurven i batchtørken, merket Frigosist, tegnet sammen med eksperimentelle tørkekurver fra laboratorieforsøk. Skala på y-aksen er gram per time per gram tørrstoff (etter Walde, 2003). LT er et opptrappingsprogram med -8°C i 48 timer, deretter $+15^{\circ}\text{C}$. MT er et mellomtemperaturprogram med 15°C hele tiden.

I Figur 23 sammenliknes batchtørken med 2 laboratorieforsøk med saltet filet. De første 18 timene er batchtørken vesentlig langsommere enn labtørken, som ble operert ved en omtrent like lav temperatur. Grunnen til at vi ser den store forskjellen er at batchtørken kjøres svært forsiktig i

begynnelsen og som vi ser av figurene 27 og 28, tørkeluften er svært fuktig og kald de første 40 timene. Det er trolig fuktig overflat fram til slutten av dette intervallet (ca. 30 timer, se ovenfor).



Figur 24. Normalfordeling av vanninnhold i klippfisk torsk basert på middelverdi og standardavvik målt på en hel vogn, 319 fisker.

I Figur 24 vises en fordeling av vanninnhold i klippfisk basert på forutsetning om at vanninnholdet etter en tørkeprosess er normalfordelt. Ved senere bruk av Visionsort-måleren blir det mer data tilgjengelig og det vil vise om forutsetningen holder eller om det er mer relevant å angi vanninnholdet på tørrstoff basis etc.

Tabell 6. Målte vanninnhold i 14 fisk (sei) som ble merket og fulgt gjennom tørken. Fiskene varierte i startvekt fra 295.8 til 1142.6 gram med middelverdi 507.

	saltfisk	klippfisk
middelverdi	54.5	40.3
standardavvik	0.5	1.37
maks.verdi	55.2	42.92
min.verdi	53.4	37.75

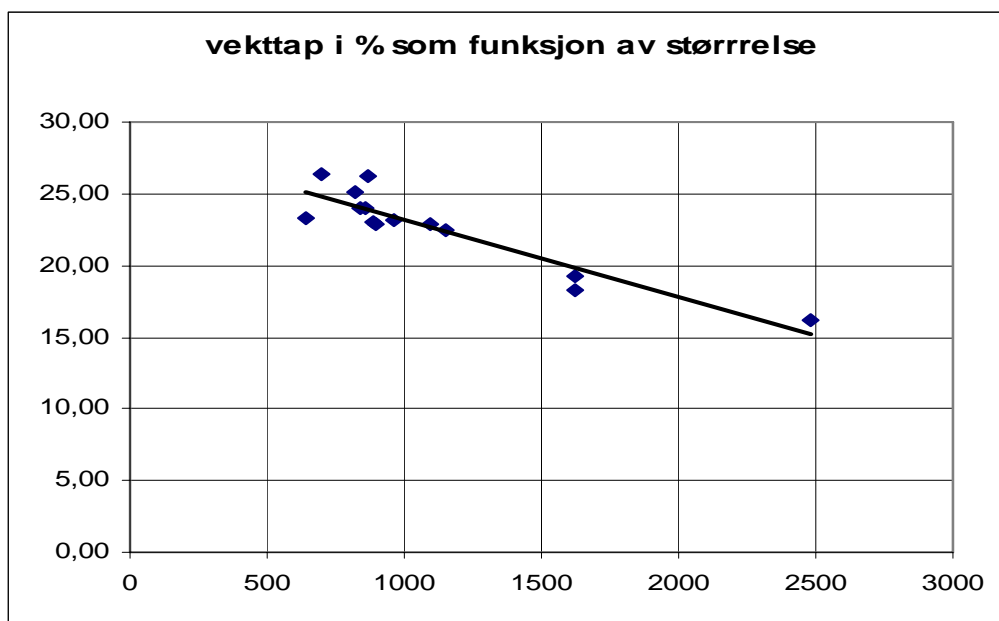
Tabell 7. Målte vanninnhold i en pall torsk (319 stk).

	saltfisk	klippfisk
middelverdi	53.58	47.7
standardavvik	0.55	1.94
maks.verdi	55.4	52.3
min.verdi	51.5	41.1

Vi ser i Tabellene 6 og 7 at klippfisken varierer mye mer i vanninnhold enn saltfisken. Dette er omtalt i Kapittel 4.3 i forbindelse med den langblåste tørken fra Optimar. Videre ser vi at vanninnholdet i de 14 fiskene (sei) som ble fulgt opp med vektmålinger under tørkingen ble mye lavere enn i de 319 fiskene på ei vogn som ble scannet med Visionsort-måleren for vanninnhold. Dette kan virke usannsynlig, spesielt fordi de 14 fiskene var sei og det ble tørket torsk i anlegget i

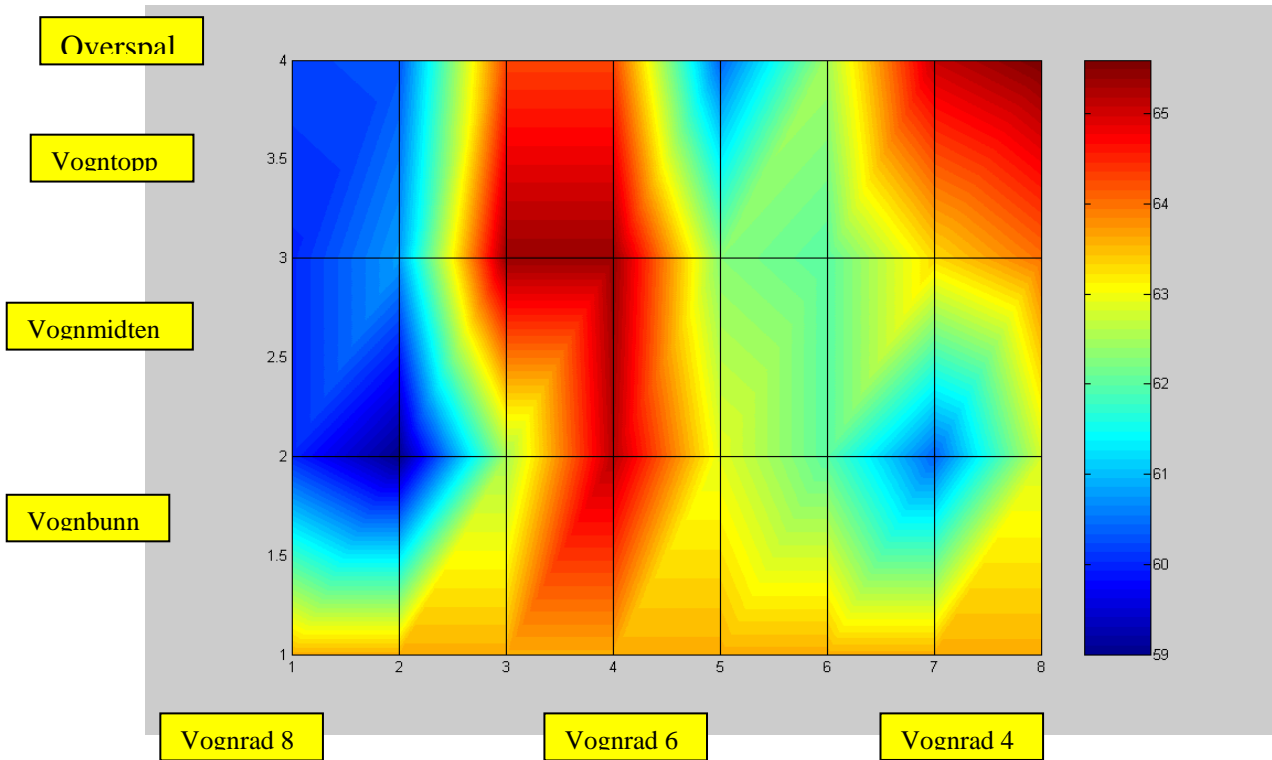
denne perioden og derfor var den vogna som ble målt også torsk. Det er kjent at sei tørker betydelig saktere enn torsk. Forklaringen må være at de 14 seiene var mindre i størrelse enn hovedtyngden av fisken i tørken. De 319 torskene som ble målt fra den ene vogna ble ikke veid. Men det ble tatt ut 17 tørkede klippfisk som ble sendt til Norsk Matanalyse for egne vanninnholdsmålinger. Disse 17 torskene ble også veid. De hadde midlere vekt 1200.9 gram med maksimalvekt 1788 og minimumsvekt 1038 gram. Videre hadde disse fiskene midlere vanninnhold på 45 %. Hvis vi regner om midlere klippfiskvekt 1200.9 gram og vanninnhold 45 % til sannsynlig gjennomsnittlig startvekt (saltfisk) blir dette 1666 gram som kan sammenlignes med midlere vekt 507 gram for de 14 seiene. Dette indikerer at fisken i tørken var mye større enn de 14 seiene som ble lagt inn for å følges opp med vektmålinger.

Vanninnholdsmålingene på ferdig klippfisk viser også svært våt fisk iblant de 319. Det må bemerkes at Visionsortmåleren ble brukt for aller første gang i industriell sammenheng til disse forsøkene og det er ikke helt sikkert at alle fiskene ble målt riktig. Disse målingene ble gjort direkte på fisk som ble tatt ut av tørken som etterpå ble sendt til sortering og videre til lagring hvor den mest sannsynlig foregår en utligning i vanninnhold. Hvis det var riktig målt at den våteste fisken var 52.3 % i vanninnhold, hadde den blitt sortert ut som slakkfisk for ettertørking.

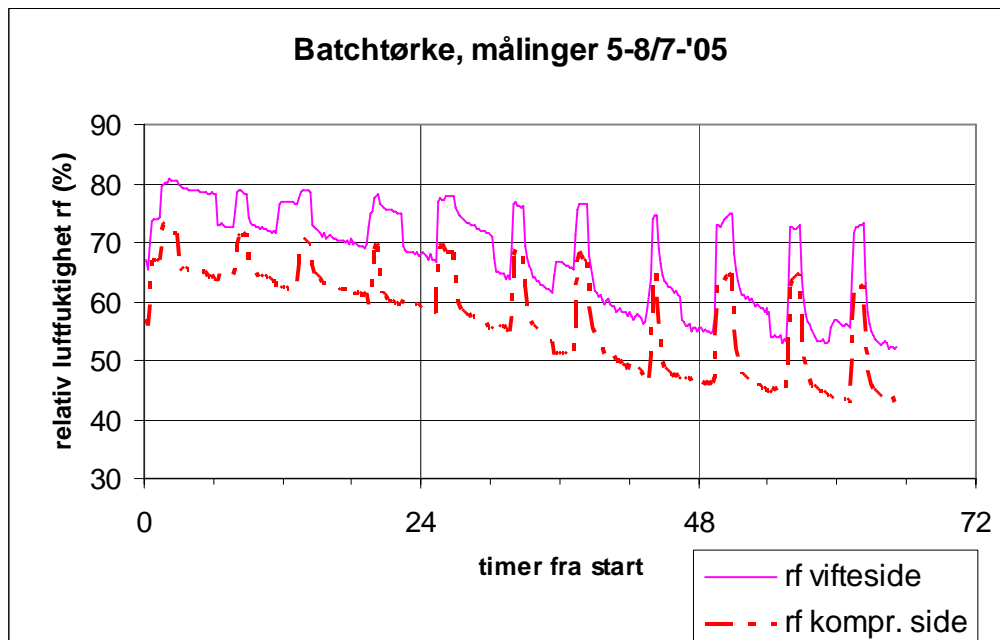


Figur 25. Regresjonsplott av vekttap i prosent av våtvekt i løpet av tørkeforløpet i batchtørken mot fiskestørrelse i gram for de 14 fiskene som ble veid.

Figur 25 viser tørkehastighet som vekttap i prosent av våtvekt som funksjon av fiskestørrelse. Det er som forventet at små fisk tørker raskere fordi tykkelsen på fiskekjøttet er minst og de har større overflate i forhold til vekten.

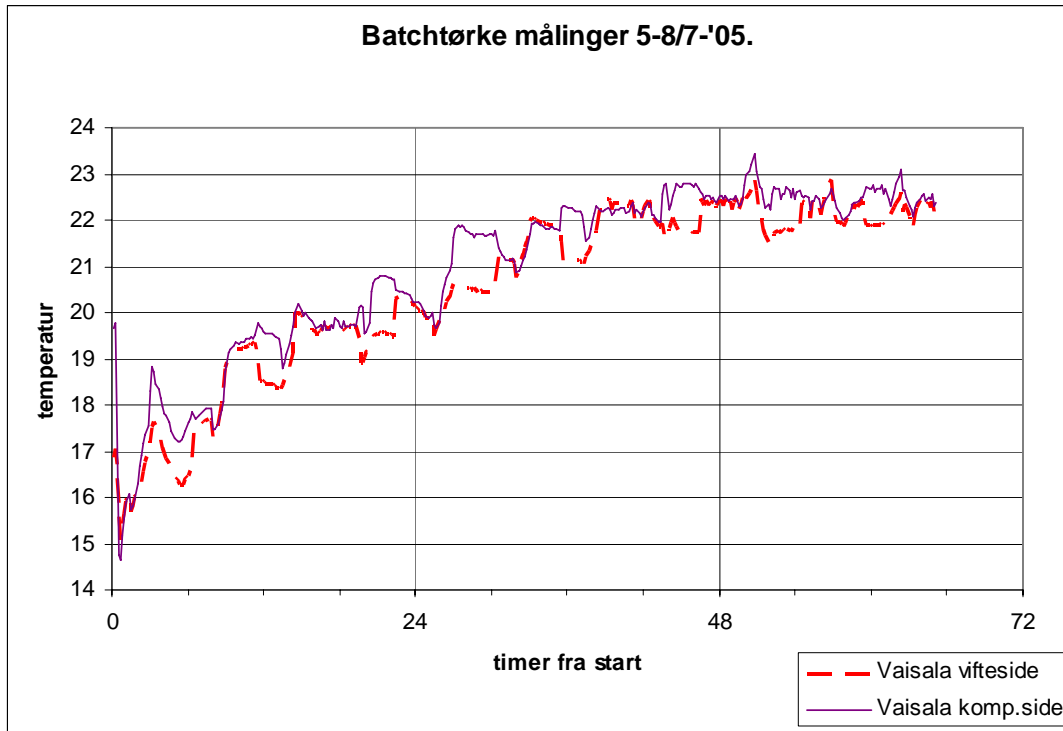


Figur 26. Fuktighetsfelt for batchtørke i våt ende, dvs. kompressorsiden i driftstilstand A. Figuren viser lengdesnitt av tunnelen fra bakvegg (motsatt til vegg med port) som er vognrad 8, og fram til midten av tørken som er vognrad 4.



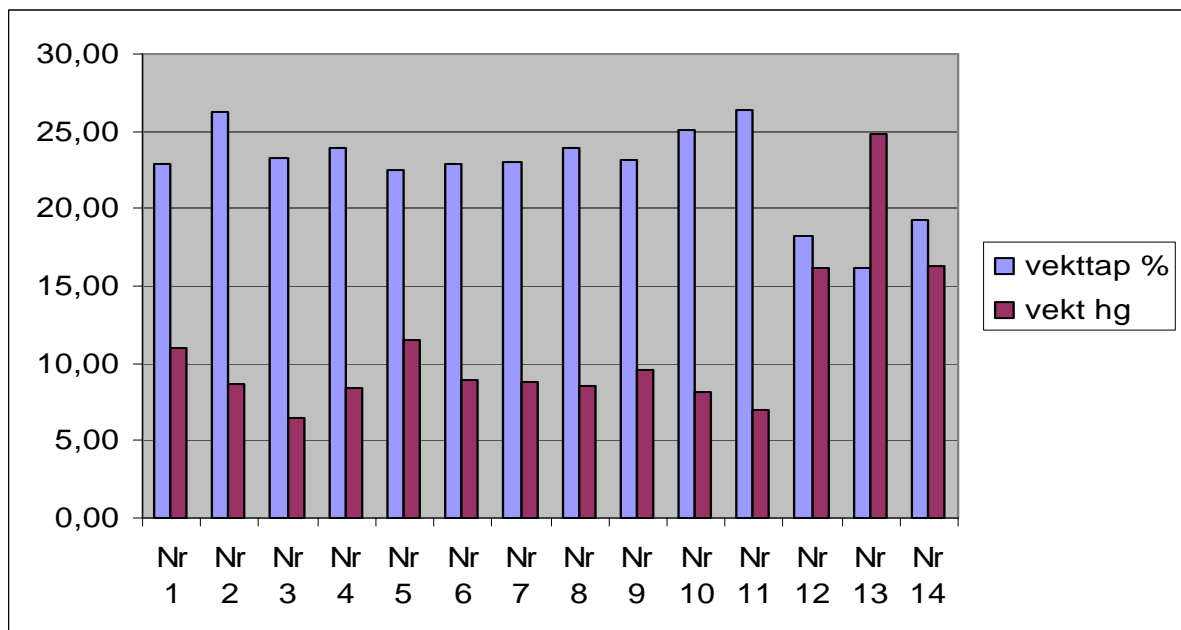
Figur 27. Relativ luftfuktighet i prosent over tørkeforløpet i timer.

Figur 27 viser relativ luftfuktighet på begge sider av tørken i løpet av måleperioden. Plassering av følerne må ha påvirket avlesningen, vi skulle forvente at viftesiden og kompressorsiden skulle alternere om å være fuktigst / tørrest avhengig av hvilken driftstilstand, A eller B, som til enhver tid ble kjørt. Likevel viser diagrammet hvor mye luftfuktigheten reduseres gjennom forløpet, og punktvis topper som avspeiler stopp av kompressor. Dette skjer fire ganger i døgnet, og hver stopp varer i en time.



Figur 28. Temperaturforløp i °C over tørkeforløpet i timer.

Vi ser i Figur 28 at temperaturen er styrt til å starte på ca. 16 °C med en gradvis økning til 23 °C etter omtrent 48 timer. Temperaturmålingene fra de samme målerne viser et bilde der temperaturfall i Figur 28 sammenfaller i tid med topper i fuktighetsdiagrammet i Figur 28. Generelt kan man si at temperaturen er veldig lav i begynnelsen av forløpet, rundt 15 °C, og det tar to døgn før den kommer opp i driftstemperatur 23 °C. Det er tydeligvis en kompressorstopp eller -pause like etter start, og dette må være lite hensiktsmessig, tatt i betraktning den store mengden vann som følger produktet etter vasking.



Figur 29. Prosent vekttao og vekt i hg for de 14 fiskene det ble målt på i batchtørken.

6.5 SIMULERTE VERDIER VED TOTRINNS TØRKEPROGRAM 17/23 °C

Også batchtørken ble simulert i VPFisk. Resultater fra simuleringen er gjengitt i Tabell 8.

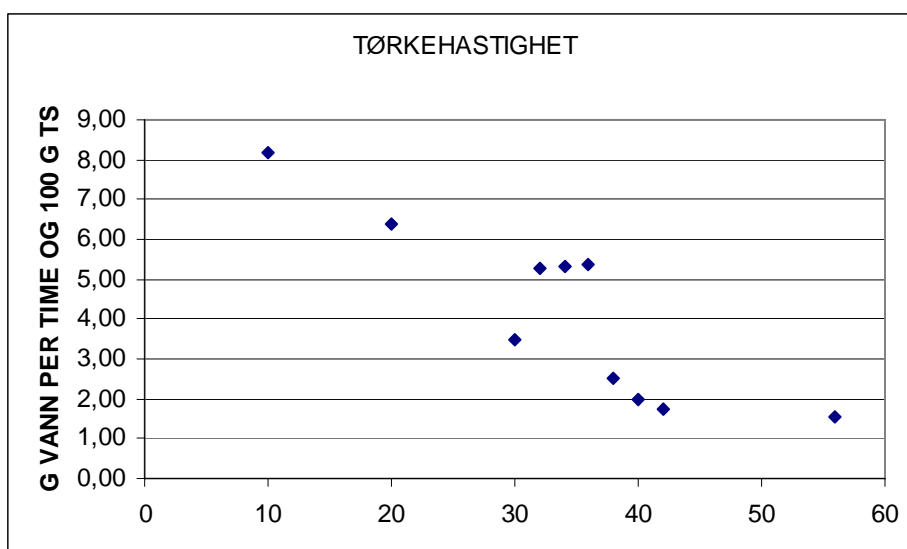
Figur 30 viser en simulering av en step – up prosess der temperaturen heves fra 17 til 23 °C etter 30 timer, for å simulere tørkebetingelsene som ble praktisert i batchtørken. Der ble riktignok temperaturen gradvis hevet, mens luftfuktigheten falt tilsvarende.

Tabell 8. Resultat av simuleringen for Frigosistema tørken.

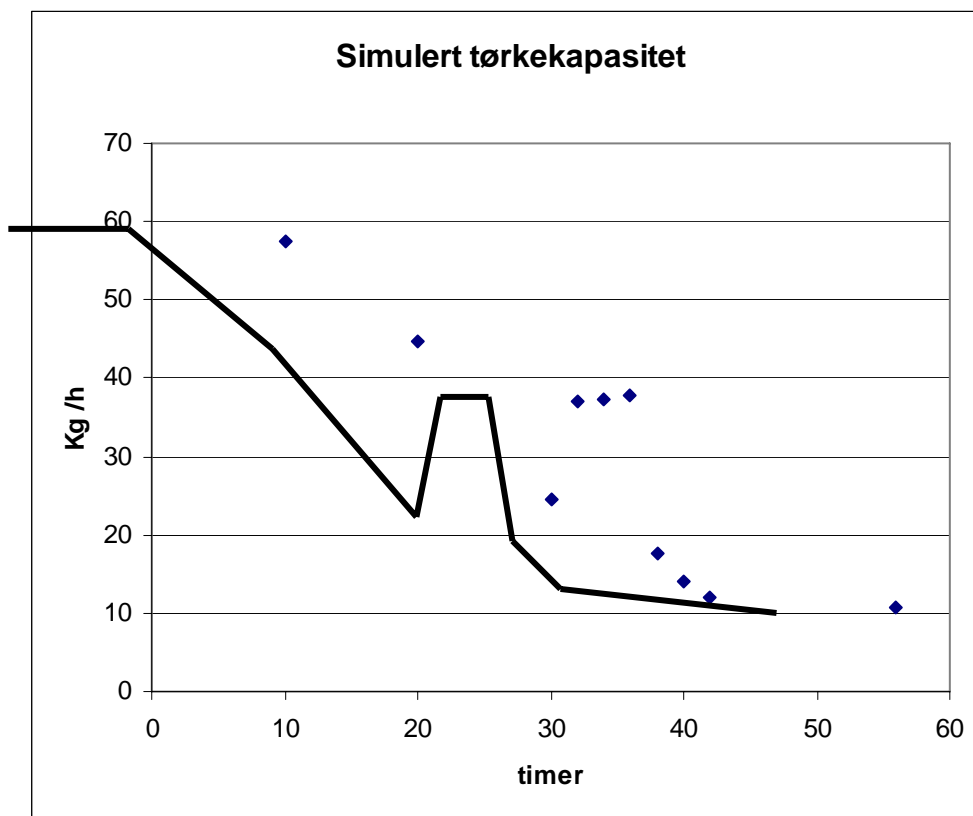
Tørketid	(døgn :timer) :	03:02
Innsatt mengde	(tonn) :	15,6
Produksjon	(tonn) :	12,634
Produksjon pr. døgn, (hele tørkeperioden)	(tonn) :	4,097
Totalt utfelt vannmengde over fordampere	(tonn) :	3,044
Gjennomsnittlig relativ fuktighet i innløp	(%) :	55,92

Simulert tørketid er her 74 timer, som stemmer bra med faktisk tørketid 68 timer, med noe høyt midlere vanninnhold.

I følge simuleringen ville en totrinns tørkeprosess kunne oppnå en tilsvarende skånsom behandling, men uten stopp av kompressor og bortkastet viftearbeid. Et momentant sprang fra 17 til 23 °C vil medføre et kraftig sprang i tørkehastighet. For å realisere et slikt sprang trengs energi, i dette tilfelle er dumpet energi i størrelsesorden 40 kW, og denne energien står til rådighet ved at dumping kondensatoren sjaltes ut ved bruk av automatikken. Ved 400 kg luft i tørken, og et energiløft på 8 kJ/kg trengs 3200 kJ, tilsvarende 80 sekund ved 40 kW. Ved en slik temperaturendring må allikevel ikke tørkeluften være varmere enn en gitt grense mellom 23 og 26 °C for ikke å risikere brenning av fisken. Se også rapport TRF 6363 *Styringsstrategi for tverrblåste batchtørke*.

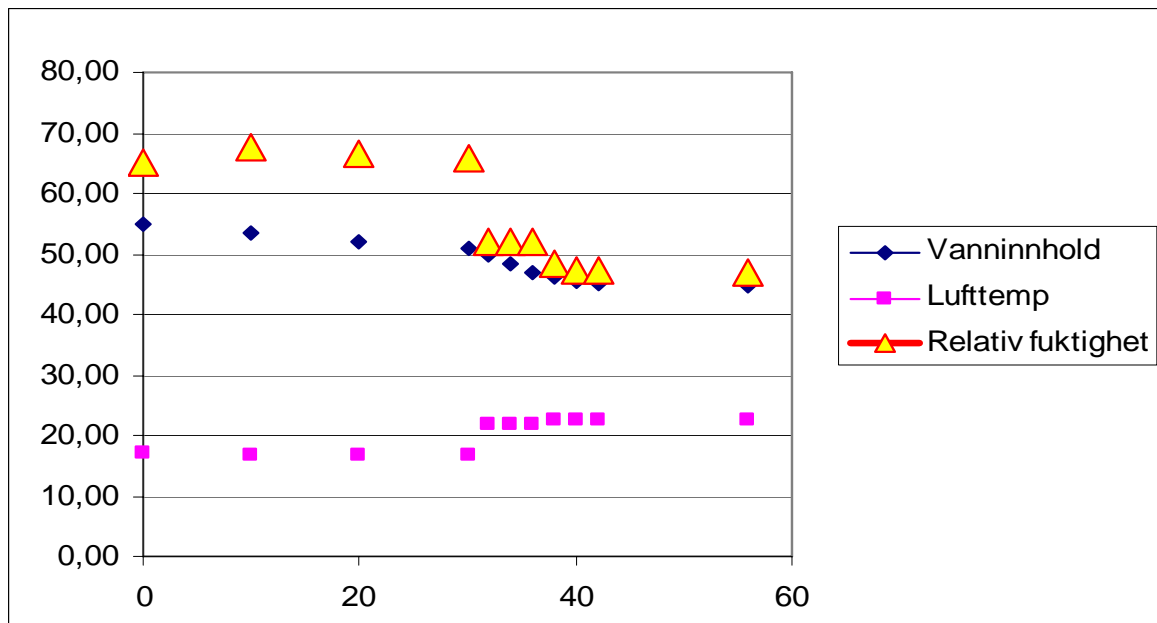


Figur 30. Simulert tørkehastighet ved totrinns tørkeprogram 17/23 °C og forhold ellers som i aktuell batchtørke.



Figur 31. Simulert tørkekapasitet ved tottrinns program i batchtørken, der temperaturen heves momentant ved 30 timer.

6.6 SIMULERINGER AV TØRKEN



Figur32. Simulering av en step – up (ved 30 timer) tørkeprosess i Frigosistema – tørken,

6.7 SAMMENFATTENDE VURDERING - BATCHTØRKEN

Forsøkene viser at tørkehastigheten varierer, både med plassering i tørken og med fiskens størrelse, i tillegg til en viss individuell variasjon. Saltfisk er heller ikke ens når det gjelder vanninnhold. Bivariat regresjon ser ikke ut til å være tilstrekkelig for å avdekke sammenhenger som kontrollerer tørkehastigheten i de ulike faser.

7 KONKLUSJON

Det er målt vanninnhold på flere hundre fisk, både saltfisk og klippfisk. Vanninnholdet på saltfisk er jevnt men ferdig tørket klippfisk varierer mye i vanninnhold, typisk med 6 – 8 %-poeng. Det er ikke ennå i dette prosjektet sjekket i hvor stor grad dette vil utlignes ved lagring, og hvor fort slik utligning går. Det er påpekt to årsaker til ujevnheter i vanninnhold: fisk med ulik størrelse tørkes sammen og tørkene har ujevne tørkeforhold.

Fortsatt gjenstår noe arbeid med å forutsi tørketid for den enkelte fisk. Det anbefales å supplere med forsøk av større antall individer, og en skarpere forhåndssortering for å bringe antallet variable lenger ned. Det er et komplisert bilde som framtrer her, og det bør planlegges og gjennomføres en multivariat forsøksserie. Simuleringsarbeidet som skal utføres videre bør også se på mulighetene av å samordne variable til å uttrykke en drivende kraft i ulike situasjoner, med utgangspunkt i bl.a. Luikov's arbeider.

Bruken av ikke-destruktiv vannmåling har nå åpnet et nytt område for å fastlegge statistikken i tørrhetsgrad for klippfisk. Når slike skannere kommer i industriell drift om kort tid, vil datagrunnlaget øke dramatisk.

REFERANSER

Strømmen, I. (1980) "Tørking av klippfisk" Dr. ing –avhandling ved Norges Tekniske Høgskole, Trondheim.

Walde, P.M.(2003). "Transport phenomena in dehydration of fish muscle" Dr. ing -avhandling ved Norges Teknisk – Naturvitenskapelige Universitet, Trondheim.

Jonassen, O., Walde, P.M.: SINTEF-rapport TRF6320 *Energianlegg og luftfordeling i 3 klippfisktørker*. Trondheim 2006.

Jonassen, O., Walde, P.M.: SINTEF- rapport TRF 6363 *Styringsstrategi for tverrblåste batchtørker*. Trondheim 2006.

Hardarson, V., Jonassen, O., Walde, P.M.: SINTEF-rapport TRF 6372 *Simuleringer av strømningsforhold i to klippfisktørker*.

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

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