

TR A7506 - Åpen

# Rapport

## Analyse av langblåst tunneltørke (Strømmen-system) (L5d)

Rasjonell klippfisktørking

### **Forfatter(e)**

Erlend Indergård



# Rapport

## Analyse av langblåst tunneltørke (Strømmen-system) (L5d)

Rasjonell klippfisktørking

EMNEORD:  
Klippfisk  
Tørking  
Tunnel tørke  
Energieffektivisering  
MellomlagringVERSJON  
V1DATO  
2015-04-22FORFATTER(E)  
Erlend IndergårdOPPDRAGSGIVER(E)  
FHFOPPDRAGSGIVERS REF.  
Lorena Gallart JornetPROSJEKTNR  
FHF-900662, SINTEF-16Y003ANTALL SIDER OG VEDLEGG:  
13 + 0 vedlegg**SAMMENDRAG****Analyse av langblåst tunneltørke (Strømmen-system)**

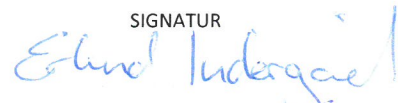
Arbeidet er en del av prosjektet Rasjonell Klippfisktørking, og innbefatter studier av de 4 mest vanlige måtene (teknologiene) å tørke klippfisk på per i dag:

- 1) Langblåst med YIT aggregat i by-pass
- 2) Kammertørke med YIT aggregat i by-pass
- 3) 3-kammerløsning med AG aggregat
- 4) Langblåst med Strømmen/Nordvestmiljø/Johnson Control system.

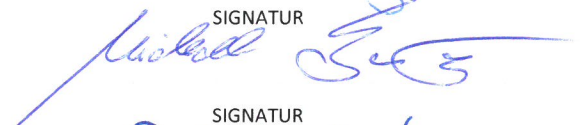
Denne rapporten inneholder industrielle målinger på langblåst tunneltørke med Strømmen/Nordvestmiljø/Johnson Control system. Det må merkes at beregningene i dette dokumentet er basert på et driftsbilde gitt under forsøksperioden. En annen drift (spesielt fiskeart og størrelse) vil gi andre energi-beregninger.

UTARBEIDET AV  
Erlend Indergård

SIGNATUR

KONTROLLERT AV  
Michael Bantle

SIGNATUR

GODKJENT AV  
Petter Røkke

SIGNATUR

RAPPORTNR  
TR A7506ISBN  
978-82-594-3636-8GRADERING  
ÅpenGRADERING DENNE SIDE  
Åpen

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBESKRIVELSE</b>
V1	2015-04-22	Versjon 1 – åpen

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Bakgrunn.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Tørkeprosessen .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Tørkeanlegget .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Tørkeforsøkene .....</b>	<b>6</b>
4.1	Fra saltfisk til klippfisk .....	6
4.2	Vanninnhold i saltfisk.....	7
4.3	Mellomlagring / sluttørking .....	7
<b>5</b>	<b>Luftprofil i tunnel .....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Lufttilstand gjennom tørken .....</b>	<b>10</b>
6.1	Vannmengde fjernet pr time .....	11
<b>7</b>	<b>Energiforbruket under tørking .....</b>	<b>11</b>
7.1	Mengde fisk i tunnelen .....	12
7.2	Beregning av effektforbruk pr tonn klippfisk.....	13
<b>8</b>	<b>Diskusjon .....</b>	<b>13</b>

## BILAG/VEDLEGG

Ingen

## 1 Bakgrunn

Arbeidet er en del av prosjektet Rasjonell Klippfisktørking, og innbefatter studier av de 4 mest vanlige måtene (teknologiene) å tørke klippfisk på per i dag:

- 1) Langblåst med YIT aggregat i by-pass
- 2) Kammertørke med YIT aggregat i by-pass
- 3) 3-kammerløsning med AG aggregat
- 4) Langblåst med Strømmen/Nordvestmiljø/Johnson Control system.

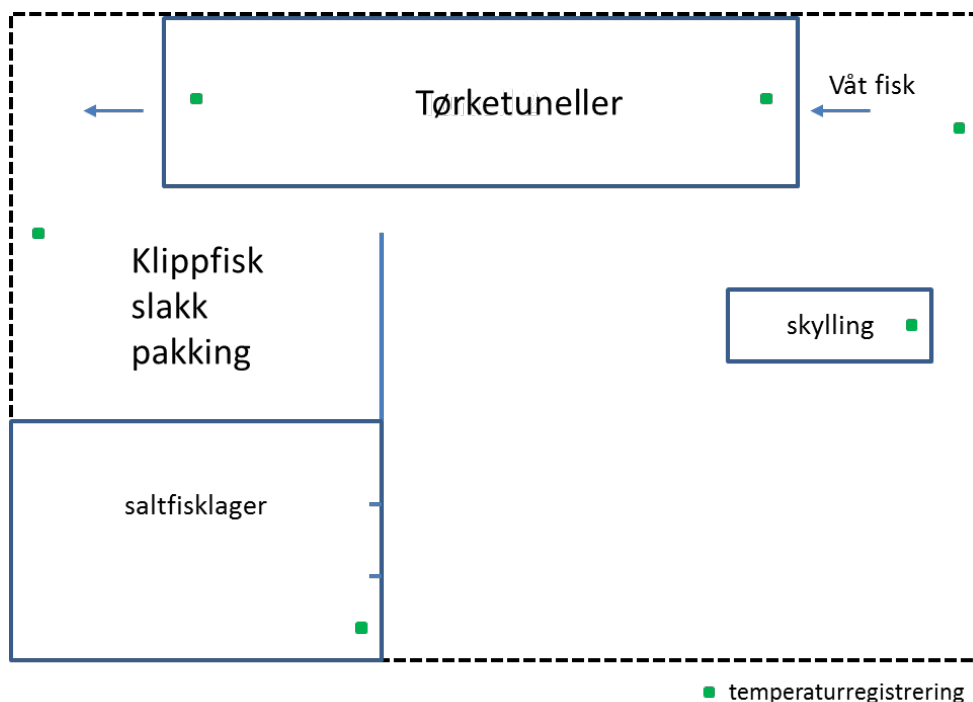
Denne rapporten inneholder industrielle målinger på langblåst tunneltørke med Strømmen/Nordvestmiljø/Johnson Control system. Målingene ble gjennomført desember 2012. Det må merkes at beregningene i dette dokumentet er basert på et driftsbilde gitt under forsøksperioden. En annen drift (spesielt fiskeart og størrelse) vil gi andre energi-beregninger.

## 2 Tørkeprosessen

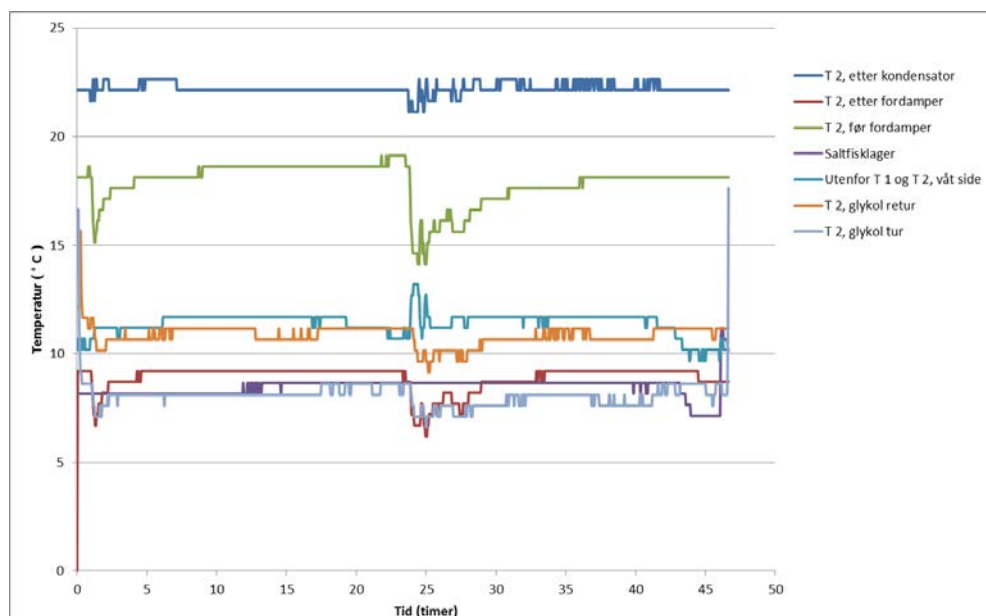
Bedriften har frossen fisk på lager som benyttes når det er mindre tilgang på fersk fisk. All saltfisk produseres på eget eller egne anlegg, og det er høy lagringskapasitet for saltfisk.

Etter vasking blir fisken lagt på brett og plassert i forkant av tørken. Innrulling på tørkene foregår etterhvert som det blir plass. Figur 1 viser en skisse av lokalene og plassering av temperaturloggere under vårt besøk.

Etter vasking blir fisken lagt på brett og plassert i forkant av tørken. Innrulling på tørkene foregår etterhvert som det blir plass. Figur 1 viser en skisse av lokalene inkludert målepunkt for temperatur og fuktighet.



**Figur 1:** Skisse av lokalene med temperaturregistrering.



**Figur 2:** Temperaturregistrering på kuldeanlegg og forskjellige steder i produksjonshallen som vist i Figur 1

Kun stor fisk blir mellomlagret under tørking, og fisken blir sluttørket i tunnelene. Det er per i dag liten kapasitet i bygningsmassen til eventuelt sluttørking utenfor tunnelene, men dette kan bedres ved ny logistikk og endring av prosesslinjen.

### 3 Tørkeanlegget

Bedriften har 2 langblåste tunneler, og kuldeanlegget er levert av Nordvest Miljø AS. Kapasiteten i tunnelene er 132 vogner (6 x 22 vogner), totalt 264 vogner. Vognene er av tre med både 5 og 6 cm mellomrom mellom brettene. Etter fylling i tunnelene er det minimalt med fritt areal rundt vognene, kun over/under og litt på sidene. Dette hindrer falskluft gjennom tunnelene. Det er installert 3 vifter hver på 5,5 kW, uten frekvensstyring. Fisken tørkes med settpunkt 20°C og 75 % RH ut av tunnel.

Normal tørketid:

1 ½ -2 dager for middels stor sei

Stor fisk: 7 dager i tørke, 1 dag hvile på lager for så å slutt-tørkes i tunnel.

Kuldesystemet i tørkeanlegget er et indirekte system hvor skruekompressoren kjøres med R134a som varmeveksles mot glykol som sirkulerer i tørketunnelen. Overskuddsvarmen fra den ene tørketunnelen benyttes i sildeproduksjon. Resten av overskuddsvarmen slippes over tak. Sirkuleringspumpe til hjelpkondensator 2,2 kW. 2 sirkuleringspumper på 5,5 kW hver tunnel (varmebatteri + kjølebatteri). 4x1 kW på hver av hjelpkondensatorene på tak. 2 kompressorer à 82 kW.

Totalt installert effekt er 233 kW fordelt på 264 vognplasser, som tilsvarer 0,88 kW per vognplass.

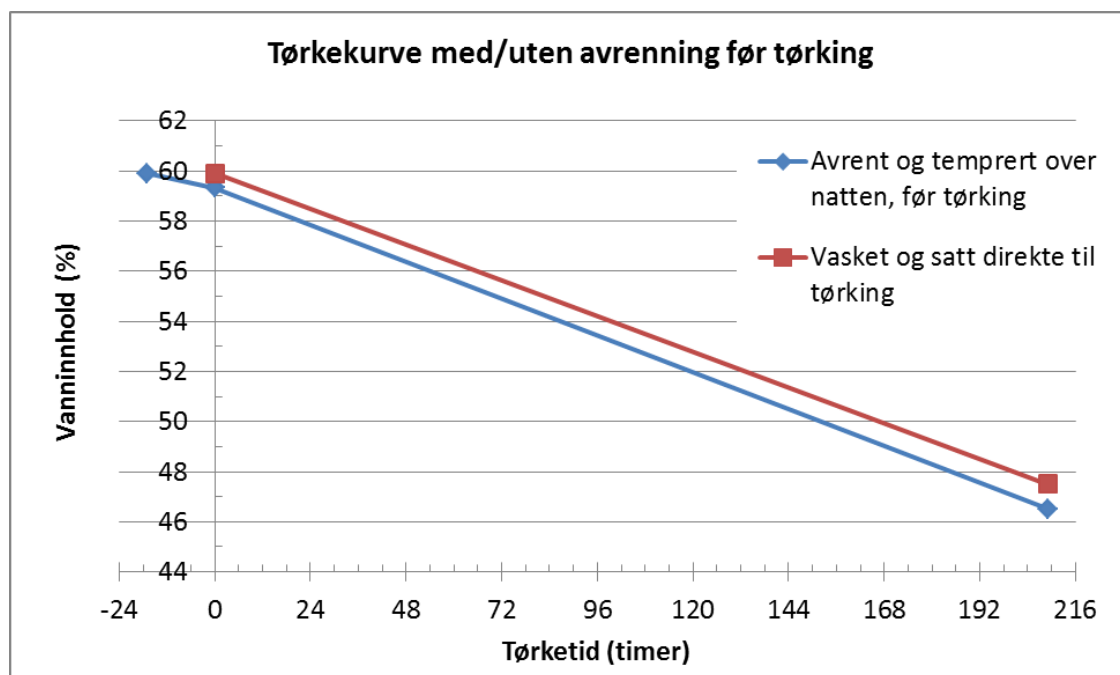
## 4 Tørkeforsøkene

Tørkeforsøkene ble delt inn i 2 deler:

1. Fra saltfisk til klippfisk
2. Mellomlagring/sluttørking

### 4.1 Fra saltfisk til klippfisk

2 x 9 stk. saltfisk av torsk (gruppe A) ble tatt ut fra sortering 2,5 -3,8 kg og fordelt likt på 2 vogner og videre fordelt med 3 fisk på nest nederste brett, 3 fisk midt på og 3 på nest øverste brett. Fiskene var på forhånd merket og veid. Vogn A ble satt til avrenning og temperering i 17 timer, mens fisk i vogn B (gruppe B) ble gikk rett fra skyllekar og inn i tørkekammer. Fuktighet og temperatur ble logget inn og ut av tunnelen, samt en logger ble plassert i vognen sammen med fisken som var veid. Fisken lå i tunnelen i 8 døgn.



**Figur 3:** Sammenligning av avrent og temperert produkt med direkte tørking etter skylling

Som man ser fra Figur 3, er det viktig at saltfisken får avrent seg etter vasking før vognene blir satt inn på tunnelen. Dette kan f.eks. utføres i ledig lokaler utenfor tunnelene. Hvis vognene settes rett inn etter vasking, vil det være mye overflatevann som må tørkes vekk i tunnelen. Det er ofte store dammer på gulvene når dette gjøres, noe som er unødvendig å belaste tørkesystemet med. Vanninnholdet i saltfisken har gått ned fra 59,9 til 59,3 % i løpet av de 17 timene vognene sto til avrenning. Man sparer nesten ett døgn i tunnelen ved å avrenne og temperere produktet før tørking.

## 4.2 Vanninnhold i saltfisk

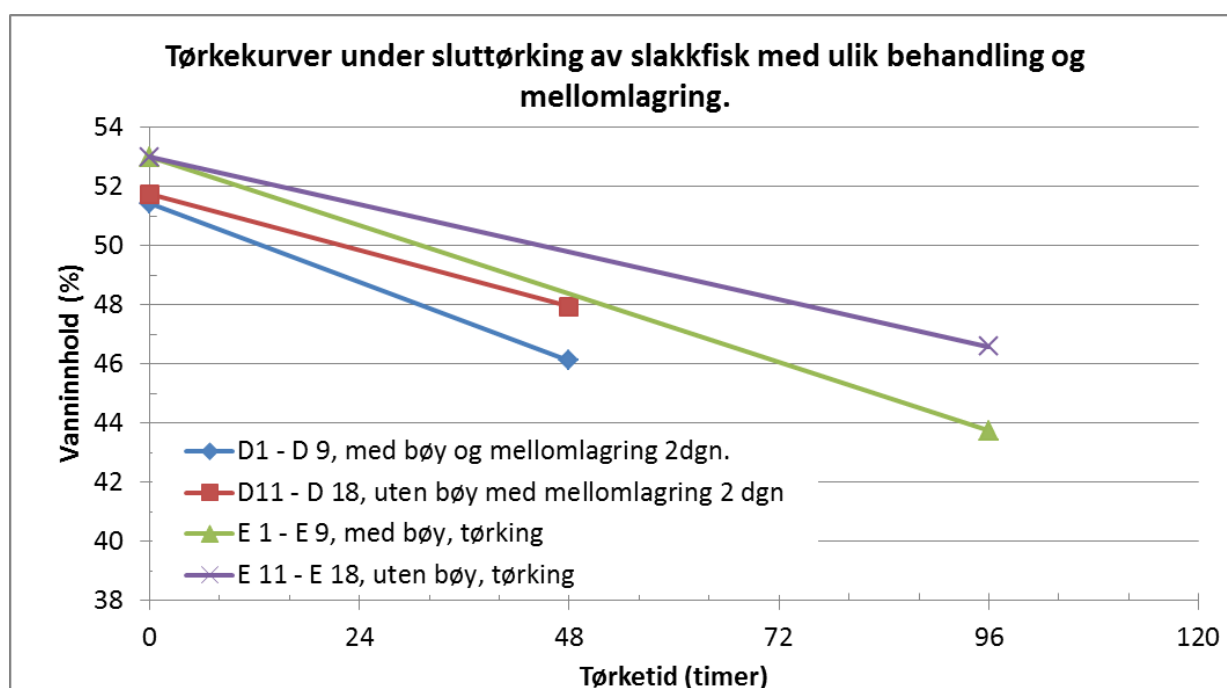
Vanninnholdet i 3 vilkårlige saltfisker ble målt til  $59,99 \% \pm 0,45 \%$ . Erfaringsmessig så er dette et høyt vanninnhold på saltfisker. Ved en lengre saltmodningsprosess, så vil mer vann trekkes ut av fisken "gratis" i stedet for å tørke ut dette vannet i tunnelen. En svært godt saltmodnet torsk kan ha ned mot 56 % vanninnhold, noe som reduserer nødvendig oppholdstid i tørken betydelig.

## 4.3 Mellomlagring / sluttørking

Etter noen døgn i tørken vil fisken få en tørr overflate, men fortsatt ha høyt vanninnhold i kjernen. Vanntransporten fra kjernen og ut til overflaten går svært sent, og lufthastighet og temperatur i tunnelen har liten innvirkning på denne. Det ble derfor gjennomført forsøk for å se om effekten av vannutjevningen fra kjernen ut til overflaten var betydelig selv om vognene ble tatt ut av tunnelen og mellomlagret i produksjonslokalene før sluttørking. Det ble også testet ut hvilken betydning fysisk bøying av fisken hadde etter mellomlagring. Bøyningen blir utført for å bryte opp tørrsjiktet som dannes på overflaten av fisken etter hvert, og som reduserer vannfjerningshastigheten fra indre deler av fisken.

Gruppe D var 2 x 9 fisker som hadde stått i tunnel i 3 døgn (sortering 1,9 – 2,5 kg) ble tatt ut som slakkfisk og veid. 9 av fiskene ble bøyd kraftig for å sprekke opp fisken fra langs ryggen og utover mot bukklappen, før de ble fordelt på ett Brett ca. midt på vognen, mens de resterende 9 fisker ble lagt direkte på Brett uten bøying, på den samme vognen.

Vognen ble satt til mellomlagring i to døgn, deretter ble fisken veid på nytt før den ble satt inn i tørketunnelen. I tillegg ble gruppe E = 2 x 9 fisker av samme slakkfisk (sortering 1,9 – 2,5) merket og veid hvor halvparten ble bøyd kraftig. Fiskene ble fordelt på 2 Brett midt på vognen og deretter ble denne vognen satt rett inn i tørken igjen, uten mellomlagring. Sluttvekt ble registrert etter hhv 2 og 4 døgn i tørken, for forsøk med og uten mellomlagret fisk.



**Figur 4:** Sammenligning av mellomlagret fisk med og uten bøy med direkte tørket fisk med og uten bøy.



Som man ser ut fra Figur 4, så har mellomlagring og ikke minst bøying av slakkfisk en stor innvirkning på tørketiden i tunnelen. Bøying uten mellomlagring har også god effekt på tørkingen. Mellomlagring reduserer sluttørketiden med 1,5 døgn. Utfører man bøying av slakkfisken i tillegg, reduseres sluttørketiden med ytterligere 0,5 døgn. Det er mulig å redusere sluttørketiden med over 2 døgn ved å ta ut slakkfisken etter 3 døgn, gjennomføre bøying og videre mellomlagring i 2 døgn før fisken blir satt tilbake i tørken.

## 5 Luftprofil i tunnel

Luftprofil og hastighet i hele tverrsnitt ble målt 2 ganger:

- 1) Ut fra tunnelen etter produktet på våtsiden
- 2) Over mesanin-tak før produkt

Riktig mengde luft i tunnelen, og luftens fordeling mellom brettene er sentral for å få god, jevn og økonomisk tørking. Så stort areal som mulig av tunneltverrsnittet bør fylles med vogner for å hindre falskluft i systemet. Ut fra Figur 5 ser man at vognene fyller tverrsnittet godt. Det er en fordel at luftmengden justeres og tilpasses mengde fisk i tunnelen for at varmpumpesystemet skal fungere mest mulig økonomisk. I og med at det ikke er frekvensstyring på viftene, er dette ikke mulig.



**Figur 5:** Tverrsnitt i tunnel. Vognene fyller tunnelen godt, slik at lite falskluft går gjennom tunnelen.

Målingene av lufthastighet og fordeling viser at hele tverrsnittet får tilført godt med luft, stort sett i størrelsesorden 1,5-3 m/s mellom brettene.

	4,5		4		4,6		3,9		4		4,4	
4,2	2,5	3,1	1,6	1,4	2,8	2,5	1,9	2,6	2,6	2,7	2,6	3,3
	2,1		3		2,7		2,4		2,2		2,4	
4,3		3,1		1		3,5		2,4		1,2		3,6
	2,8		2,5		2,2		2,4		1,3		2,8	
4,4	2,3	3,3	2,8	2,1	2	3	1,9	2,2	2,8	2,6	2,9	4,2
	1,2		4,2		3,6		3,5		3,9		2,5	

**Figur 6:** Lufthastigheter (m/s) målt mellom Brett og rundt vognene på saltfisk-siden

Gjennomsnittlig lufthastighet er 2,85 m/s.

Både lufthastighetsmålingene og beregning av åpent tverrsnitt (areal for luftstrømming) er forbundet med usikkerhet. Med et fritt areal på B 6,2 x H 2,1 m = 13,0 m<sup>2</sup> x 53 % lysåpning (erfaringstall fra tilsvarende vogner), er luftmengde beregnet til omkring 71.400 m<sup>3</sup> pr time.

Luftmengde gjennom tørkekammeret: 2,85 m/s x 6,9 m<sup>2</sup> = 19,8 m<sup>3</sup>/s ≈ 71.400 m<sup>3</sup>/time.

	3,1				2					3,4
	3,2		3,2		3			3,2		3,3
	3,3				3,3					4,1

**Figur 7:** Lufthastighetsmåling i tverrsnittet over mesanin-tak inn på produkt, 3 vifter à 5,5 kW

Gjennomsnittlig lufthastighet målt over mesanintaket er 3,19 m/s. Med et areal i tunnelen på B 6,2 x H 2,0 = 12,4 m<sup>2</sup>, viser dette til en luftmengde på 39,6 m<sup>3</sup>/s = 142.000 m<sup>3</sup>/h. Dette er betydelig høyere enn det som ble bestemt ved målinger mellom Brettene.



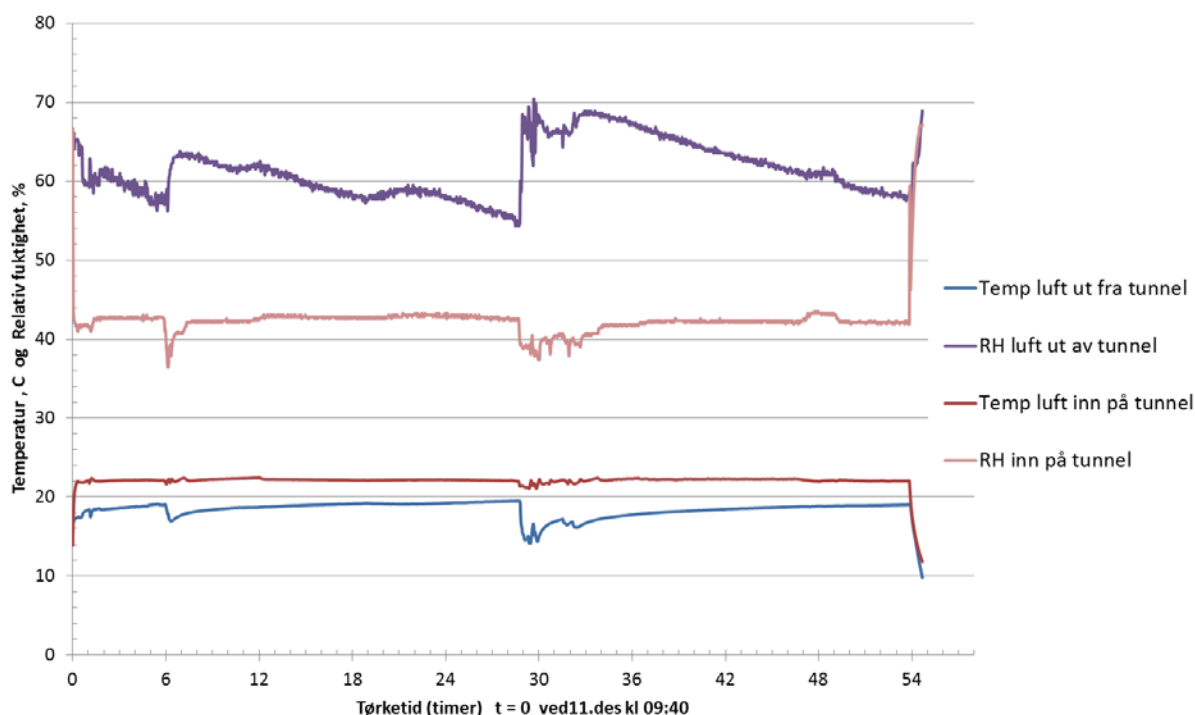
**Figur 8:** Plassering av logger over mesanintak. Filterduken er synlig over mesanintaket.

Det er usikkert om filterduk har noe virkning, da det er små mengder partikler som blir revet med luftstrømmen rundt i systemet. Der er også forbundet trykktap med en filterduk, noe som øker effekten på viftene, og kan redusere lufthastigheten. Hvor mye dette utgjør, er ikke kjent her.

## 6 Lufttilstand gjennom tørken

Temperaturen og relativ fuktighet inn på tørken ligger jevnt på hhv. 22 °C og 43 %. Den viktigste faktoren under tørkingen er relativ fuktighet. Salt-/klippfisk har en likevektsfuktighet på 76 %, og med et tørkepotensiale på 33 % (76 – 43 %) anses dette som godt.

Under forsøkene var tørken full av fisk med ulik størrelse, og med jevn innfylling av saltfisk. Dette gir god oppfukning av tørkeluften. Dette kan man se ut fra Figur 9 under der relativ fuktighet ut fra tunnelen ligger i størrelsesorden 70 % etter innsats av våt fisk, for så å falle ned mot 55 % etter hvert som fisken blir mer tørr. Temperaturen gjennom tunnelen faller fra 22 til 16-19 °C pga. energien til fordampningen av vann fra fisken. I og med at fuktigheten i luften ut fra tunnelen ikke er målt opp mot 76 %, vil man ha tørking gjennom hele tunnelen. Optimalt (energimessig) ville det vært en fordel å senke lufthastigheten litt for å øke fuktigheten i ut-luften og dermed effektiviteten på varmepumpen. (Energien i den fuktige luften utnyttes i varmepumpen til videre oppvarming av inn-luften). Det ville også vært en fordel å tilføre våt fisk i tunnelen 2 ganger i døgnet i stedet for 1, for å holde fuktigheten jevnt høyere over tid. Dette må selvfølgelig vurderes opp mot endringer i driften.



**Figur 9:** Registrering av temp og RH i inn- og ut-luften av tørketunnelen.

## 6.1 Vannmengde fjernet pr time

Vannmengde ut av tunnelen ble fysisk målt i 3 perioder. Ut fra Figur 9, tilsvarer disse periodene tiden 6-12, 12-22 og 28-52. Dreneringsvannet ble i snitt målt til hhv. 147, 94 og 108 liter/time.

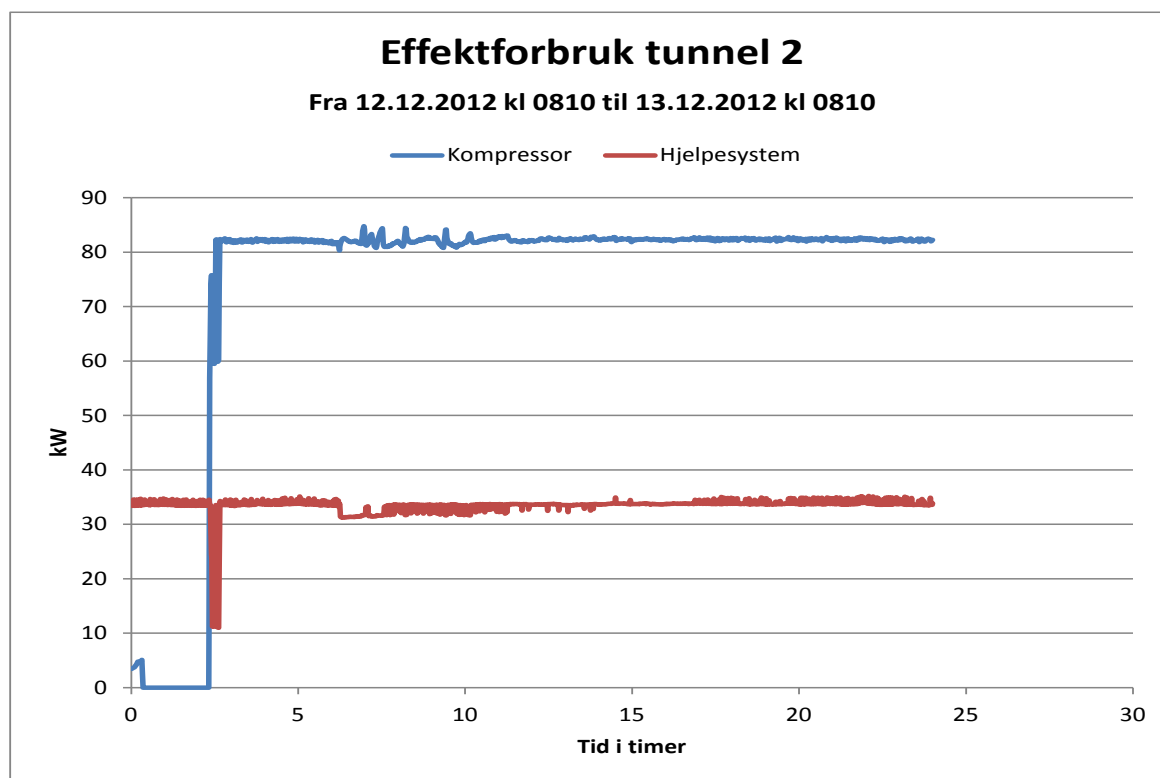
Vannfjerning kan også beregnes med bruk av forskjellene på inn- og utgående luft. I snitt i periodene ble utgående luft målt til hhv. 18,8 °C / 62 %, 19,0 °C / 58 % og 18 °C / 64 %. Innluft har 22 °C / 43 %.

Ut fra fuktig luft diagram bestemmes absolutt vanninnhold i utluften til hhv. 0,0009, 0,0007 og 0,0009 kg vann/kg luft. Innluften har 0,0005 kg vann/ kg luft. Tettheten av luft er 1,019 kg/m<sup>3</sup>. Beregnet luftmengde ble satt til 120.000 m<sup>3</sup>/time.

Dette gir en vannfjerning på hhv. 110, 86 og 110 kg vann/time. Det er usikkerheter rundt slike beregninger, men det synes at luftmengden ligger rundt 120.000 m<sup>3</sup>/time som beregnet ved bruk av hastighetsmålinger.

## 7 Energiforbruket under tørking

For å registrere energiforbruket ble tunnel 2 instrumentert med registrering av strøm, effekt og energiforbruk for kompressor og hjelpesystemer (pumper, viftet osv). Figur 10 viser effektforbruket over et døgn (fra 12.12.2012 kl. 0810 til 13.12.2012 kl 0810). Energiforbruket for tunnel 2 i denne perioden var på 2581 kWh. I denne perioden var det 120 vogner i tunnel hvorav 47 ble satt inn den 12.12.2012.



**Figur 10:** Effektforbruk registrert for tunnel 2.

Under drift av en tunnel, belastes systemet 82 kW pga. kompressorene og 32 kW av hjelpesystemet. Totalt effektforbruk er 114 kW pr time.

## 7.1 Mengde fisk i tunnelen

Det er knyttet usikkerhet til videre beregninger på forbrukt energi pr kg fisk pga. at innsats av våt fisk varierer en del fra dag til dag. Det er også en variasjon i størrelse på fisken som videre øker usikkerheten.

Antall vogner fra 10. til 11. des = 94  
 Antall vogner fra 11. til 12. des = 124  
 Antall vogner fra 12. til 13. des = 120  
 Antall vogner fra 13. til 14. des = 122

**Tabell 1:** Antall vogner og kg fisk inn og ut av tunnelen i forsøksperioden

**Mengde fisk i tunnelen**

Forutsetter vekt pr vogn fra 10. til 11. des. til å være 348 kg

	Ant vogner	Ant kg/vogn	Kg	Tot kg i tunnel
Fra 10. til 11. des	94	348		32696
Ut 11. des	12	348	4174	
Inn 12. des	42	521	21882	
Fra 11. til 12. des				50404
Ut 12. des	51	365	18601	
Inn 12. des	47	561	26375	
Fra 12. til 13. des				58178
Ut 13. des	16	377	6024	
Inn 13. des	18	663	11934	
Fra 13. til 14. des				64088

Tunnelen er designet for 132 vogner, og med en tørketid på 8 døgn for stor fisk, tilsvarer dette 16 vogner pr døgn med jevn tilførsel av saltfisk. I og med at størrelsen på fisken varierer, antas det videre at gjennomsnittlig tørketid på torsk er 7 døgn, dvs. at 19 vogner utskiftes pr døgn (gjennomsnittstall ved jevn produksjon).

## 7.2 Beregning av effektforbruk pr tonn klippfisk.

Forutsetter at saltfisken har et vanninnhold på 60 % og ferdig klippfisk har 47 %. Gjennomsnittsvekt per vogn saltfisk er satt til 550 kg, dvs. innsats av 10.450 kg saltfisk pr døgn. Dette gir en vannmengde i saltfisken på 6270 kg og 3706 kg på klippfisken, dvs. 2563 kg vann må fjernes pr døgn noe som tilsvarer 107 kg vann pr time. Dette er godt i henhold til målt vannfjerning (108 kg/time) under forsøket.

Med et effektforbruk på 114 kW pr time og en vannfjerning på 107 kg pr time, får man et SMER forhold (kg vann fjernet pr kW forbrukt) på 0,94.

Med innsats av 10.450 kg saltfisk pr døgn, får man 7.887 kg klippfisk pr døgn. Dette tilsvarer et effektforbruk på 347 kWh pr tonn klippfisk.

**Det må merkes at en annen drift, f.eks. med mindre fisk og jevnt innfylling, vil kunne gi betydelig lavere effektforbruk pr tonn.**

## 8 Diskusjon

Diskusjoner rundt ulike parametere og tiltak er beskrevet under hvert delkapittel.



Teknologi for et bedre samfunn

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